

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA TRITURAR HOJAS**  
**DISECADAS DE PLANTAS MEDICINALES PARA INGREDIENTE DEL TÉ**  
**SACHET, CON CAPACIDAD DE 25 kg/h PARA “LA FUNDACIÓN FAMILIA**  
**SALESIANA SALINAS”**

**AUTORES:**  
**LUIS FRANCISCO PALLASCO VIZUETE**  
**ALEX PAUL JAMI JAMI**

**TUTOR:**  
**VÍCTOR HUGO CABRERA MORETA**

**Quito, diciembre del 2018**

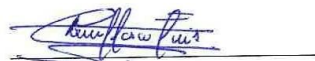
## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Alex Paul Jami Jami y Luis Francisco Pallasco Vizuite, con documentos de identificación N° 175148215-7 y N° 172426941-8, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA TRITURAR HOJAS DISECADAS DE PLANTAS MEDICINALES PARA INGREDIENTE DEL TÉ SACHET, CON CAPACIDAD DE 25 kg/h PARA LA FUNDACIÓN FAMILIA SALESIANA SALINAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Prioridad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Alex Paul Jami Jami  
C.I. 175148215-7



Luis Francisco Pallasco Vizuite  
C.I. 172426941-8

Quito, diciembre de 2018.

### **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA TRITURAR HOJAS DISECADAS DE PLANTAS MEDICINALES PARA INGREDIENTE DEL TÉ SACHET, CON CAPACIDAD DE 25 kg/h PARA LA FUNDACIÓN FAMILIA SALESIANA SALINAS” realizado por Alex Paul Jami Jami y Luis Francisco Pallasco Vizuite, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, diciembre de 2018



Víctor Hugo Cabrera Moreta  
C.I. 171486465-7

## **DEDICATORIA**

Mi tesis se la quiero dedicar con todo cariño a Dios, a mi familia y a todos mis amigos que han sido benefactores para lograr este objetivo, principalmente a mi padre, quien ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional y por mostrarme el camino hacia la superación.

**Alex Paul**

El presente proyecto, va dedicado en primer lugar a Dios, a mis padres y hermanas, quienes, con esfuerzo y dedicación me motivaron a alcanzar mis sueños y permitieron culminar con éxito una etapa más en mi vida.

**Luis Francisco**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios padre celestial por guiarme y permitirme formarme con la familia salesiana, a mis profesores que me supieron transmitir el conocimiento teórico y práctico para lograr culminar con éxito este proyecto. Agradezco de todo corazón a mi padre Milton y a mi madre Laura que siempre han estado conmigo y me han brindado su amor desde el día que nací, agradezco a mi hermano Danilo y a mi mejor amigo Francisco por su incondicional apoyo.

**Alex Paul**

Gracias a todas aquellas personas, en especial a mis padres Yolanda y Luis quienes con su amor y sabios consejos infundieron en mí el esfuerzo y dedicación para lograr alcanzar mis metas, a mis hermanas Alexandra y Daniela, a mis familiares, amigos, en especial a mi gran amigo Alex Paul Jami. Quienes aportaron con un granito de arena para la culminación de este proyecto.

**Luis Francisco**

Nuestra gratitud y agradecimientos a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Campus Kennedy, por los conocimientos impartidos durante la formación académica que nos serán útiles en el campo laboral. Agradezco a nuestro tutor Ing. Victor Cabrera quien nos guio en el inicio de nuestra tesis.

## ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Fundación Familia Salesiana Salinas .....	3
1.2 Materia prima.....	3
1.2.1Características de las plantas medicinales en el Ecuador .....	3
1.2.2Las 12 hojas de las plantas medicinales ingredientes del té en sachet.....	4
1.3 Procesos de producción.....	12
1.3.1Diagrama de flujo del proceso de elaboración del té en 12 hiervas.....	13
1.4 Generalidades de la tritución.....	14
1.4.1Tamaño de desintegración .....	14
1.4.1.1Tritución (desintegración gruesa).....	14
1.4.1.2Molienda (desintegración fija).....	15
CAPÍTULO II .....	16
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	16
2.1 Equipos para molienda.....	16
2.1.1 Molino de gruesos de rodillos .....	17
2.1.2 Molino de finos .....	17
2.1.2.1 Molino de martillos .....	17
2.1.2.2 Molino de discos .....	18
2.1.3 Molino de ultrafinos de bolas.....	19
2.2 Estudio de alternativas .....	20
2.3.1 Alternativa 1: Molino de rodillos.....	20
2.3.2 Alternativa 2: Molino de martillos.....	21

2.3.3 Alternativa 3: Molino de disco.....	21
2.3 Selección de alternativa.....	22
2.3.1 Costo de inversión.....	22
2.3.6 Costos de mantenimiento y operación .....	24
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>26</b>
<b>DISEÑO DE PARTES Y SELECCIÓN DE MATERIALES .....</b>	<b>26</b>
3.1 Funcionamiento del molino triturador de hojas secas.....	27
3.2 Capacidad de trituración del molino .....	27
3.3 Densidad de las hojas disecadas de plantas medicinales .....	28
3.4 Capacidad de trituración .....	30
3.5 Relación de transmisión de las poleas.....	31
3.6 Selección de bandas .....	33
3.6.1 Longitud de la correa .....	36
3.7 Selección de materiales para la polea.....	37
3.8 Potencia requerida para el eje motriz .....	37
3.8.1 Momento de Inercia del eje motriz .....	37
3.8.2 Cálculo de la Aceleración Angular .....	39
3.8.3 Torque en el eje principal.....	40
3.8.4 Potencia necesaria en el eje motriz .....	41
3.9 Fuerza para triturar hojas secas .....	41
3.10 Potencia Trituración .....	45
3.11 Potencia Total requerida para triturar hojas secas.....	45
3.12 Selección del Motor .....	45
3.13 Diseño de los discos dentados.....	46
3.13.1 Disco Estático.....	46
3.13.2 Número de entradas.....	46
3.13.3 Nervios principales.....	48
3.13.4 Ranuras.....	49
3.13.5 Ángulo de ingreso .....	50
3.13.6 Disco giratorio.....	50
3.13.7 Selección de material para los discos dentados .....	51
3.13.8 Peso del disco .....	52

3.14 Cálculo del tornillo transportador .....	53
3.14.1 Tornillo Transportador .....	53
3.14.2 Área del relleno del canalón.....	53
3.14.3 Velocidad de desplazamiento.....	54
3.14.4 Flujo de material transportado .....	55
3.14.5 Potencia de Accionamiento.....	56
3.14.6 Potencia de desplazamiento horizontal .....	57
3.14.7 Potencia de accionamiento del tornillo en vacío.....	58
3.15 Diseño del eje motriz .....	58
3.15.1 Diagrama de cuerpo libre del eje principal .....	59
3.15.2 Cálculo del momento flector y fuerza cortante .....	59
3.15.3 Diseño estático del eje.....	64
3.15.4 Diseño dinámico del eje .....	67
3.16 Selección de chumacera .....	76
3.17 Selección de rodamiento .....	77
3.18 Cálculo de la mesa-bastidor .....	78
3.18.1 Cálculo del perfil horizontal.....	81
3.18.2 Diseño de columnas .....	82
3.19 Calculo de soldadura .....	84
3.20 Diseño del Tornillo de regulación.....	85
3.21 Calibración de la máquina.....	87
CAPITULO IV .....	90
RESULTADOS, ANÁLISIS DE COSTOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	90
4.1 Resultados .....	90
4.2 Costos directos .....	94
4.3 Costos Indirectos.....	97
4.4 Costos Totales .....	98
4.5 Costos de operación y mantenimiento .....	98
4.6 Viabilidad del proyecto .....	99
4.7 Depreciación de la máquina .....	100
4.8 Análisis del valor actual neto, la tasa interna de retorno y Payback .....	101
4.8.1 Flujo de caja .....	102



4.8.2 Valor actual Neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR).....	103
4.8.3 Tiempo de retorno de la inversión Payback.....	104
CONCLUSIONES .....	105
RECOMENDACIONES .....	106
REFERENCIAS.....	107
ANEXOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Hoja de guaviduca. Fuente: [4].....	4
Figura 2 Planta de mashua. Fuente: [6].....	5
Figura 3 Hierba de linasa. Fuente: [8].....	5
Figura 4 Planta de arquitecto. Fuente:[10].....	6
Figura 5 Planta de manzanilla. Fuente: [12] .....	7
Figura 6 Hoja de menta. Fuente: [4] .....	7
Figura 7 Planta de ataco. Fuente: [6] .....	8
Figura 8 Hojas de orégano. Fuente:[4].....	9
Figura 9 Cola De Caballo. Fuente: [4] .....	9
Figura 10 Planta cola de caballo. Fuente: [4].....	10
Figura 11 Planta de ñachag. Fuente:[6].....	11
Figura 12 Planta de chuquiragua. Fuente:[6] .....	11
Figura 13 Diagrama de flujo del proceso de elaboración del té en 12 hiervas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	13
Figura 14 Molino de grueso de rodillos. Fuente: [23] .....	17
Figura 15 Molino de martillo. Fuente: [24] .....	18
Figura 16. a) Molino de disco sencillo b) Molino de disco doble. Fuente: [20] .....	19
Figura 17 Molino a) por rebalse b) por diafragma c) por compartimiento. Fuente: [19] .....	20
Figura 18 Tubos de ensayo. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	28
Figura 19 Hojas molidas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	29
Figura 20 Tubo de ensayo con hojas molidas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	29
Figura 21 Tabla para seleccionar correa. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	35
Figura 22 Bandas de perfil trapecial AX. Fuente: [29].....	36
Figura 23 Esquema del eje principal. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami...	38
Figura 24 Dinamometro. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	42
Figura 25 Molino artesanal. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	42
Figura 26 Hojas secas molidas en el molino artesanal. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	43

Figura 27 Muestras de flor chuquiragua. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	47
Figura 28 Toma de medidas de la chuquiragua. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	47
Figura 29 Entradas del disco. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	48
Figura 30 Nervios principales del disco. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	49
Figura 31 Ranuras dentadas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	49
Figura 32 Ángulo de inclinacion para el ingreso del material. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	50
Figura 33 Diseño de disco giratorio. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami ....	51
Figura 34 Planicidad del disco giratorio. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	51
Figura 35 Diagrama de cuerpo libre del eje motriz. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	54
Figura 36 Cargas principales en el eje . Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami	63
Figura 37 Diagrama de fuerza cortante. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	63
Figura 38 Diagrama de momento flexionante. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	64
Figura 39 Eje sometido a flexion. Fuente: [33].....	71
Figura 40 Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio. Fuente: [33] .....	72
Figura 41 Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. Fuente: [33] .....	73
Figura 42 Eje sometido a torsión. Fuente: [33].....	73
Figura 43 Catalogo de chumacera. Fuente: [34] .....	77
Figura 44 Rodamientos SKF. Fuente:[35] .....	78
Figura 45 Estructura de mesa. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	79
Figura 46 Diagrama de perfil horizontal con sus respectivas cargas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami.....	80

Figura 47 Diagrama de esfuerzo cortante. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	80
Figura 48 Diagrama de momento flector. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	81
Figura 49 Armadura. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	83
Figura 50 Propiedades mecánicas de la aleación ER316L. Fuente: [36] .....	85
Figura 51 Funcionamiento del tornillo de regulación .....	85
Figura 52 Bolsa de Té de sachet. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	88
Figura 53 Toma de medidas de varias muestras al azar. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	88
Figura 54. Diagrama de flujo- Implementación del molino al proceso de elaboración de té sachet Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami.....	92
Figura 55 Gráfica comparativa de tiempos A-B. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	93
Figura 56 Gráfica comparativa de distancias recorridas A-B. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Trituración en base al material seleccionado. Fuente: [20] .....	14
Tabla 2 Costo de la inversión inicial de los diferentes molinos.....	22
Tabla 3 Análisis de alternativas .....	24
Tabla 4 Número de revoluciones por minuto.....	32
Tabla 5 Factor de carga de servicio. Fuente: [28] .....	34
Tabla 6 Cargas que requiere para girar el tornillo en vacío .....	43
Tabla 7 Cargas que requiere para girar el tornillo lleno.....	44
Tabla 8 Valores de cada chuquiragua medida.....	48
Tabla 9 Coeficiente de disminución de flujo de material .....	55
Tabla 10 Factor de acabado superficial.....	69
Tabla 11 Factor de Confiabilidad.....	70
Tabla 12 Medida de 10 muestras tomadas .....	88
Tabla 13 Medidas de muestras ordenadas de menor a mayor.....	89
Tabla 14 Pruebas de molienda con 500 gr .....	91
Tabla 15 Tiempos empleados en el proceso de elaboración del té en sachet .....	92
Tabla 16 Distancias recorridas en el proceso de elaboración de té en sachet. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami .....	93
Tabla 17 Lista con los costos de materiales .....	95
Tabla 18 Costos de Maquinaria utilizada.....	96
Tabla 19 Costos de mano de obra .....	96
Tabla 20 Costos Directos .....	97
Tabla 21 Costos de ingeniería e imprevistos .....	97
Tabla 22 Costo del Transporte .....	97
Tabla 23 Costos Indirectos .....	98
Tabla 24 Costos Totales .....	98
Tabla 25 Consumo eléctrico mensual .....	99
Tabla 26 Costo de operación y mantenimiento.....	99
Tabla 27 Depreciación anual del molino .....	101
Tabla 28 Producción mensual del molino.....	101
Tabla 30 Resultado del VAN y TIR.....	104

## RESUMEN

El proyecto técnico tiene como finalidad realizar el diseño y fabricar un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingrediente del té sachet, con capacidad de 25 kg/h para la Fundación Familia Salesiana Salinas.

El proyecto compila aspectos teóricos fundamentales acerca de las 12 hojas a ser trituradas como son: usos medicinales, lugar de los sembríos, proceso de producción del té, también se considera aspectos relevantes para manipular hojas disecadas de plantas medicinales para obtener los datos exactos de diseño y funcionalidad del equipo.

En base al sustento teórico sobre trituración y estudio de alternativas, se selecciona el molino más adecuado para obtener el grado de molienda utilizado en la preparación de infusiones aromáticas, obteniéndose así los parámetros de diseño.

Además, se presenta los cálculos de las partes diseñadas, así como la selección de las partes, piezas, accesorios normalizados y la selección de materiales, utilizados en la fabricación del molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales.

Para la construcción del molino se realiza un análisis de costos de fabricación, así como los resultados obtenidos en varias pruebas en la comunidad.

Finalmente, se emiten conclusiones y recomendaciones del mencionado proyecto.

**Palabras claves:** construcción, diseño, hojas deshidratadas, molino, sachet, trituración.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is the design and construction of a mill to crush dissected leaves of medicinal plants for tea ingredients, with a capacity of 25 kg / h for the Salesian Family Foundation Salinas.

The project explains about the 12 leaves to be crushed for: medicinal uses, place of the crops, tea production process the importance handling of food is also considered to obtain the correct parameters of design and functionality of the equipment.

Based on the theoretical explanation of crushing and mill alternatives, it select the most appropriate method to obtain the degree of grinding used in the mix of aromatic infusions, thus obtaining the design parameters.

The analysis patterns of elements are also presented, as well as the selection of the standard elements and selection of materials, used in the construction of the mill.

An analysis is made of the economic resources used for the construction of the mill and the economic results in the tests with it.

Finally, conclusions and recommendations are established in this project.

**Keywords:** construction, design, dehydrated leaves, mill, sachet, crushin

## INTRODUCCIÓN

Las propiedades medicinales que presentan algunas plantas del páramo andino y del subtrópico en el Ecuador, han permitido que se desarrollen mecanismos para su aprovechamiento, para rescatar la medicina tradicional con productos naturales.

Para el presente proyecto el objetivo general es diseñar y construir de un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingrediente del té sachet, con capacidad de 25 kg/h para la Fundación Familia Salesiana Salinas. Los objetivos específicos son: Analizar la situación actual de la Fundación mediante una investigación de campo de la cantidad en kg de hojas secas trituradas que produce, realizar un estudio de alternativas para seleccionar un molino con un motor de 1hp a 110 v que se adapte a las necesidades del usuario, diseñar un molino triturador de hojas secas con una capacidad de 25 Kg/h, seleccionar los materiales más apropiados para la construcción del molino se debe considerar las normas establecidas actualmente para el procesamiento de alimentos, evaluar la producción en tiempo y cantidad de las hojas medicinales trituradas, ingrediente de té sachet, realizar un análisis de costos comparativos entre la inversión y el retorno que se obtiene en base a la producción del molino.

Se ha seleccionado la trituración de hojas disecadas de plantas medicinales, que son recolectadas de los huertos por la Fundación Familia Salesiana Salinas, y que son ingrediente del té sachet.

Con la demanda de los productos naturales, surge la necesidad de introducir al mercado un nuevo té en sachet, presentado como el “té de 12 hierbas”, mismo que contiene: guaviduca, mashua, linasa, arquitecto, manzanilla menta, ataco, orégano, hierba luisa, cola de caballo, ñachag y chuquiragua.

A la presente fecha la trituración de las hojas disecadas se lo realiza en moliendas ajenas a la Fundación, las cuales están ubicadas en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador.



Para satisfacer la necesidad de la Fundación, se diseñará y construirá un molino para triturar hojas medicinales disecadas, con la finalidad de agilizar los procesos productivos en la elaboración del nuevo té en sachet.

En el primer capítulo se desarrolla el Marco Teórico sustentándolo con la investigación bibliográfica, aquí se detalla tanto las características de las plantas utilizadas para el té sachet, proceso de elaboración y los métodos empleados en el proceso de trituración.

En el segundo capítulo, se realiza un estudio de los diferentes tipos de molinos describiendo sus aplicaciones y funcionamiento. Además, se realiza la selección del molino más apropiado para la trituración de hojas secas teniendo en cuentas parámetros de diseño y costos.

En el tercer capítulo, se diseña los elementos a construirse por los cuales está conformado el molino tales como: tornillo transportador, discos móvil y fijo, estructura soporte.

En el cuarto capítulo, se registran los resultados al finalizar el proyecto de igual forma el análisis de costos que determinar la viabilidad de este proyecto. Y, finalmente, las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Fundación Familia Salesiana Salinas**

La Fundación Familia Salesiana Salinas, se encuentra ubicada en la parroquia de Salinas del cantón Guaranda en la provincia de Bolívar, Ecuador, dedicada a las actividades agro-industriales y artesanales con la producción y comercialización a nivel nacional con la marca el Salinerito [1].

#### **1.2 Materia prima**

La materia prima son 12 hojas disecadas de plantas medicinales: guaviduca, mashua, linasa, arquitecto, manzanilla menta, ataco, orégano, hierba luisa, cola de caballo, ñachag y chuquiragua.

Poseen propiedades tonificantes, estimulantes y reconstituyentes que son presentadas en infusiones aromáticas y que son ingrediente del té en sachet.

##### **1.2.1 Características de las plantas medicinales en el Ecuador**

Las plantas con usos medicinales han tomado una gran importancia en la actualidad, en el Ecuador las comunidades y pueblos ancestrales encontraron en la tierra sus farmacias naturales.

En los Andes ecuatorianos sobre los 2000 m de altitud, crecen algunas especies silvestres y se cultivan plantas que contabilizadas son un total de 432 especies de plantas que se utilizan en la medicina tradicional.

El poder curativo de las plantas que se expenden en las hierberas de los mercados ecuatorianos en su gran mayoría, son utilizadas para aliviar dolencias, de las cuales 104 especies son utilizadas para tratar inflamaciones que hacen referencia a problemas de hígado y riñones, 35 especies para dolencias estomacales, 33 especies para problemas de circulación de sangre [2].

### 1.2.2 Las 12 hojas de las plantas medicinales ingredientes del té en sachet

#### **Guaviduca**

La guaviduca (*Piper Carpunya*), es un árbol de 2 a 6 metros de altura que crece en los Andes y Amazonia a una altitud de 1000 a 2000 msnm. Las hojas de esta planta son utilizadas como remedio antiinflamatorio cuando son secadas, estas adquieren un mayor aroma al ser preparadas en bebidas [3].

Alivia cólicos menstruales, cólicos estomacales, antiinflamatoria contra úlceras, diarrea, así como irritaciones en la piel.



Figura 1 Hoja de guaviduca. Fuente: [4]

#### **- Mashua**

La mashua, “añu”, “isaño” o “cubio” (*Tropaeolum tuberosum*), es una planta que crece entre los 2000 a 4300 msnm a temperaturas bajas y suelo pobres, originaria de la región Andina y cuya habiudad se extiende desde Colombia hasta el norte de Argentina [5].

Es empleado como antibiótico, para prevenir y aliviar afecciones de la próstata.



Figura 2 Planta de mashua. Fuente: [6]

#### - **Linasa**

La linasa o lino (*Linum usitatissimum*), es una hierba anual de un solo tallo que alcanza una altura aproximada de 40 a 50 cm, sus hojas son de color lila y en sus frutos albergan semillas de color café claro, las cuales se consumen con fines medicinales [7].

Es conocida por que alivia enfermedades del sistema digestivo, gastritis, úlceras del estómago. Además, es utilizada para desinflamar hinchazones, golpes.



Figura 3 Hierba de linasa. Fuente: [8]

#### - **Arquitecto**

El arquitecto (*Lasiocephalus ovatus* Schltdl), es una especie de planta que se encuentra distribuidas en la región norte desde el alto-andino (2550 msnm) hasta los páramos desérticos (4350 msnm) desde Venezuela hasta Perú, y su centro de mayor diversidad en Ecuador [9].

Utilizado para tratar inflamaciones, úlceras y afecciones de la próstata.



Figura 4 Planta de arquitecto. Fuente:[10]

#### - **Manzanilla**

La manzanilla (*Chamaemelum Nobile*), es una planta originaria de sudeste de Europa y Asia, que fue introducida por los españoles y que poco después fue incorporada en la medicina herbolaria. Es una hierba de que alcanza una altura de 20 a 50 cm, de tallo liso y hojas estrechas y largas de color verde intenso [11].

Los principios activos de esta planta se concentran en la flor y hojas, utilizada por las propiedades antiespasmódicas trata dolencia de artrosis, inflamaciones de pies y parpados, irritación de garganta, catarro nasal.

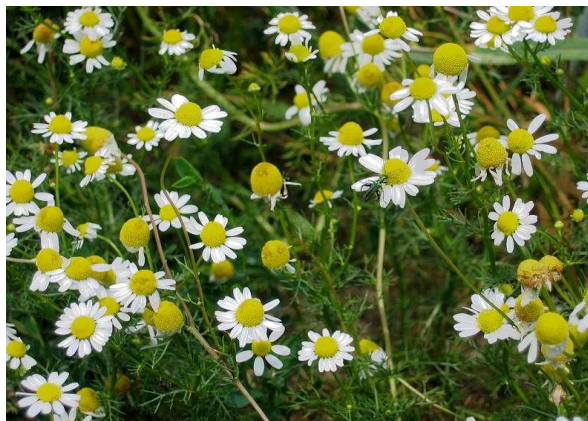


Figura 5 Planta de manzanilla. Fuente: [12]

#### - **Menta**

La menta (*Mentha pulegium*), es una hierba de crecimiento rápido empleado en gastronomía y perfumería por su aroma fresco. Es una planta de tallo fino y erecto que alcanza una altura de hasta los 60 cm, de hojas muy aromáticas de color verde brillante [13].

Es utilizada como antiparasitario, aromática y alivia dolencias estomacales.



Figura 6 Hoja de menta. Fuente: [4]

#### - **Ataco**

Es una planta de origen andino cultivada a 2000 a 3000 msnm, que tradicionalmente se le conoce en el Ecuador con el nombre de ataco (*Amaranthus hibrydus*), su tallo es de color morado o purpura alcanzado hasta los 2 m de altura, produce una semilla de color negro, con hojas simples ovaladas de color verde cuando son jóvenes y morado o purpura a su madurez [14].

Es recomendable su consumo para prevenir y curar afecciones como la osteoporosis, diabetes, obesidad, hipertensión arterial, estreñimiento.



Figura 7 Planta de ataco. Fuente: [6]

#### - **Orégano**

El orégano (*Origanum vulgare*), es una hierba aromática, utilizada en la comida mediterránea. Las hojas ovaladas acabas en punta son usadas en fresco o secas como condimento, su tallo es recto y alcanza una altura de 30 a 80 cm [15].

Es un condimento característico de la pizza, también es usado para aliviar dolencias estomacales, cólicos menstruales, ictericia.





Figura 8 Hojas de orégano. Fuente:[4]

#### - **Hierba Luisa**

La Hierba Luisa (*Cymbopogon citratus*), es una gramínea que alcanza máximo los 2 m de altura, formados por muchos tallos cortos y hojas que tienen entre 30 y 100 cm de largo y 1 a 1.5 cm de ancho. La parte utilizables por la industria son las hojas y los tallos tiernos [16].

Utilizada para aliviar dolores musculares y de cabeza, combate el cansancio y estrés, tonifica los tejidos, aumenta la circulación sanguínea.



Figura 9 Cola De Caballo. Fuente: [4]



#### - Cola de Caballo

La cola de caballo (*Esquisetum arvens*), es una hierba de mide hasta 2 m de altura, es de tallos cilíndricos huecos y suaves, sus frutos tienen forma de conos. Crecen en climas semicálido, semiseco, seco y templado [17].

Esta hierba es consumida en el mundo por los deportistas, debido a sus beneficios terapéuticos que presenta, actúa en la flexibilidad de tendones y paredes vasculares. También es utilizado para curar la inflamación de vejiga, antihemorrágico, anticancerígeno.



Figura 10 Planta cola de caballo. Fuente: [4]

#### - Ñachag

La planta de ñachag (*Bidens andicola*), es terrestre de hasta unos 30 cm de altura, sus hojas son simples y sus flores de color amarillo intenso. Crecen en los andes abandonados y áridos de la serranía ecuatoriana [2].

Utilizada para aliviar dolencias estomacales, problemas de acné, ictericia.



Figura 11 Planta de ñachag. Fuente:[6]

#### - **Chuquiragua**

La chuquiragua (*Chuquiraga jussieui* I.F. Gmel), es un arbusto del páramo que alcanza de 50 a 70 cm de altura, de tallo ramificado, casi desde la base, y con nudos prominentes, con flores de un color naranja, crecen únicamente en las laderas de los volcanes [18].

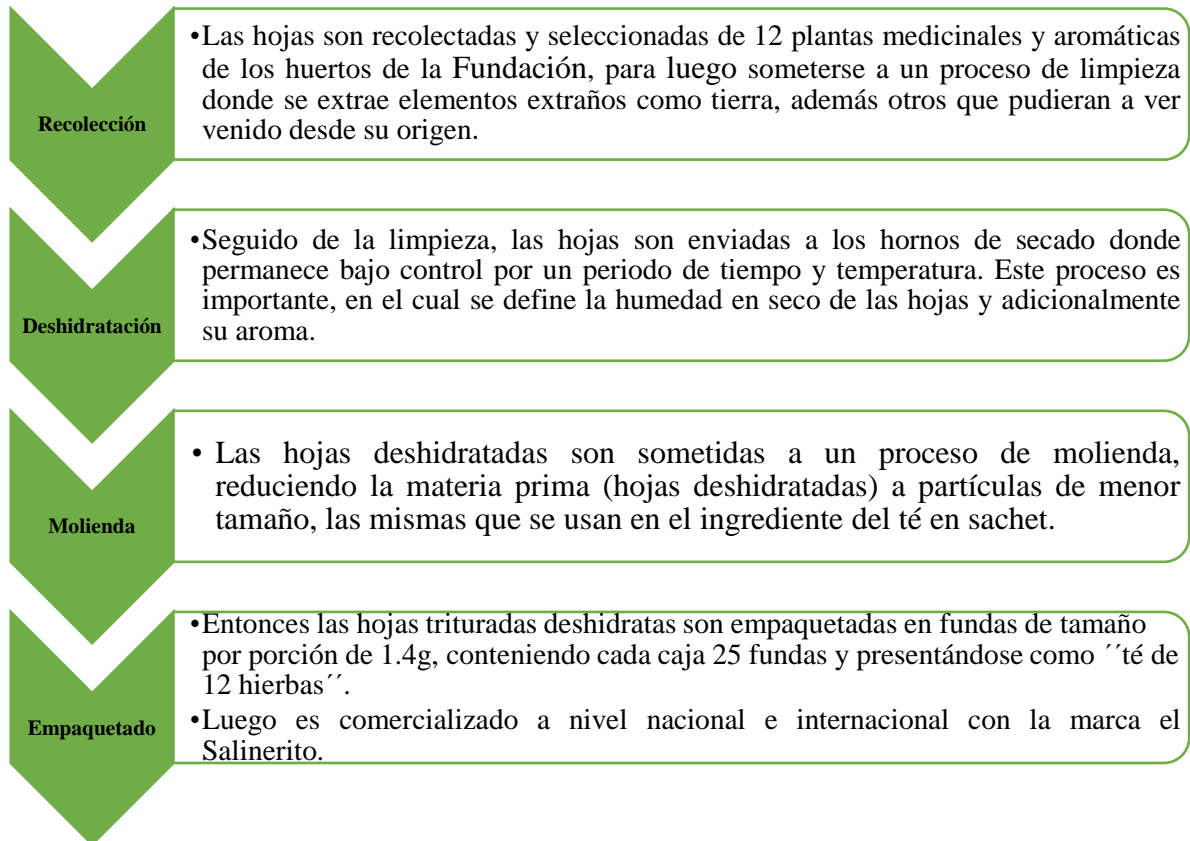
Sirve como remedio casero, tratamiento de problemas hepáticos, hígado, riñones, diurético.



Figura 12 Planta de chuquiragua. Fuente:[6]

### 1.3 Procesos de producción

Hoy en día, la Fundación se encuentra formada por el Grupo de Empresas Salinas, el proyecto de la empresa de los Aceites Esenciales produce una amplia variedad de productos en los que se encuentran las infusiones aromáticas, presentadas en cajas que contienen 25 fundas de té en sachet.



### 1.3.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración del té en 12 hiervas

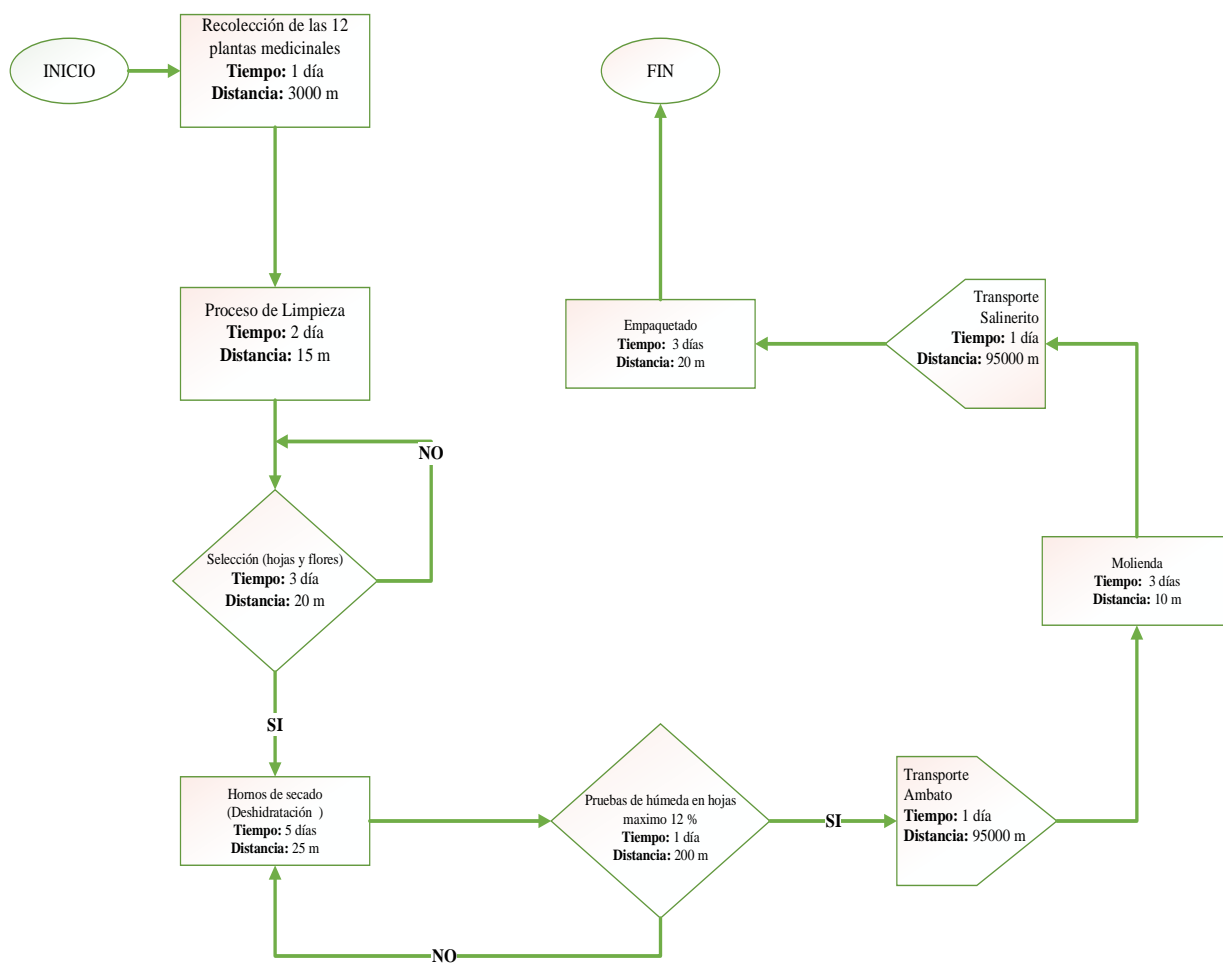


Figura 13 Diagrama de flujo del proceso de elaboración del té en 12 hiervas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

## 1.4 Generalidades de la trituración

La trituración o desintegración, es un proceso de reducción de tamaño de las partículas de un elemento sólido, utiliza medios físicos como máquinas trituradoras y molinos [19].

Los métodos de reducción de tamaño que emplean los equipos de molienda son:

- a. Compresión
- b. Impacto
- c. Frotación o rozamiento
- d. Corte

De acuerdo con las propiedades físicas y composición químicas de un material, se emplea los 4 métodos de trituración, detallados en la Tabla 1.

Tabla 1 Trituración en base al material seleccionado. Fuente: [20]

<b>Clase de material</b>	<b>Método de trituración</b>
Material duro	Compresión, impacto
Material frágil	Frotación o rozamiento
Material tenaz	Corte

### 1.4.1 Tamaño de desintegración

Según las etapas de trituración y molienda, el tamaño de las partículas varia al aplicarse los métodos de desintegración de sólidos que se detallan a continuación [21].

#### 1.4.1.1 Trituración (desintegración gruesa)

De acuerdo con el tamaño de la partícula a la salida de la trituración esta puede ser:

- **Trituración gruesa**

Tamaños de partículas de salida de 15 cm (6")

- **Trituración mediana**

Tamaños de partículas de salida de 3 y 15 cm (1 ¼" a 6")

- **Trituración fina**

Tamaños de partículas de salida de 0.5 y 3 cm ( $\frac{1}{5}$ " a  $1\frac{1}{4}$ " )

#### ***1.4.1.2 Molienda (desintegración fija)***

De acuerdo con el tamaño de las partículas de salida del material triturado se clasifica en:

- **Molienda gruesa**

Tamaños de partículas de salida de 0.1 y 0.3 mm

- **Molienda fina**

Tamaños de partículas de salida menores de 0.1 mm

## **CAPÍTULO II**

### **ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para el diseño y construcción del molino se debe considerar las normas, los códigos y leyes a nivel nacional e internacional para la construcción y manipulación de alimentos.

Así mismo los parámetros establecidos por el Código de Salud y su Reglamento para el procesamiento de plantas. Tal es el caso de la normativa NTE INEN 2 392:2007, establecen los requisitos que debe cumplir las hojas de plantas medicinales destinadas a la preparación de aguas aromáticas para el consumo humano [22].

Los aspectos requeridos para el diseño del molino para triturar hojas secas son:

- Hojas deshidratadas de 12 plantas medicinales aromáticas
- El material es frágil y quebradizo
- Máquina robusta y de concepción sencilla
- Mantenibilidad fácil de ejecutar
- Capacidad de producción media
- El material en contacto con la materia prima debe construirse en acero inoxidable

#### **2.1 Equipos para molienda**

La técnica de molienda desde hace algunos años ha tomado una gran importancia en la industria. Anteriormente la gran variedad de productos se los utilizaba en estado bruto o fragmentos, hoy en día estos deben ser pulverizados para ser tratados. La molienda resulta esencial por los impactos favorables que esta presenta en un proceso productivo, aumenta así la productividad y reduce los costos de producción.

Los equipos utilizados en molienda se clasifican en función del tamaño del material requerido a la salida de estos. Los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Tipos de molinos de acuerdo con el tamaño de la partícula. Fuente: [21]

Rango de reducción de tamaño	Nombre de equipo	Tipo de molino
Grueso o intermedio	Molinos de gruesos	De rodillos
Fino	Molinos de finos	De martillos Discos
Ultrafino	Molinos de ultrafinos	De bolas

### 2.1.1 Molino de gruesos de rodillos

El equipo de molino de rodillos de grueso (crusher), consta de dos cilindros de acero que rotan en sentido contrario, uno de cada par de rodillos gira sobre cojinetes fijos, de esta manera se puede definir la distancia entre ambos rodillos, entonces las partículas atrapadas son reducidas de tamaño por fuerza de compresión.

Los rodillos pueden tener una superficie liza, ondulada o pueden tener una superficie de disco dentado. Los molinos dentados no pueden moler solidos duros [23].

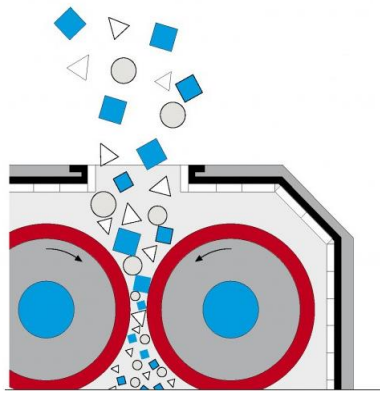


Figura 14 Molino de grueso de rodillos. Fuente: [23]

### 2.1.2 Molino de finos

#### 2.1.2.1 Molino de martillos

El molino de martillos basa su principio de funcionamiento en una serie de martillos rotativos que impactan al producto en su interior. Los martillos se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo al girar el eje, el material a moler entra por la tolva y cae por acción de la gravedad hacia la cámara de desintegración, donde es golpeada por los martillos para luego



chocar con la cámara, el proceso se repite hasta alcanzar el tamaño de molienda deseado o hasta que pueda pasar por la rejilla de descarga.

Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos [24].

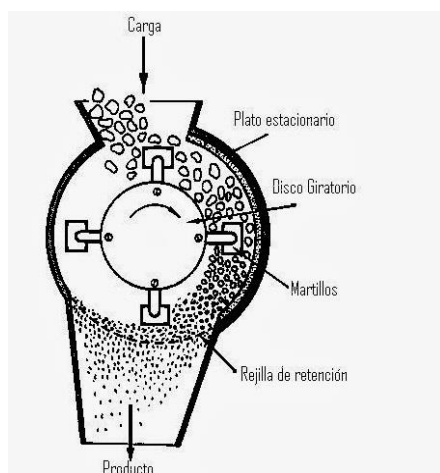


Figura 15 Molino de martillo. Fuente: [24]

### 2.1.2.2 Molino de discos

El molino de disco sencillo o de abrasión utiliza la fuerza de corte para reducir el tamaño de un material sólido, es utilizado principalmente en la molienda fina. Los discos tienen una superficie dentada o con canaletas, uno de los discos gira a alta velocidad el cual se enfrenta a un disco fijo.

En un molino de atracción de doble disco, estos rotan en direcciones opuestas lo que facilita el desgaste del material a moler [20].

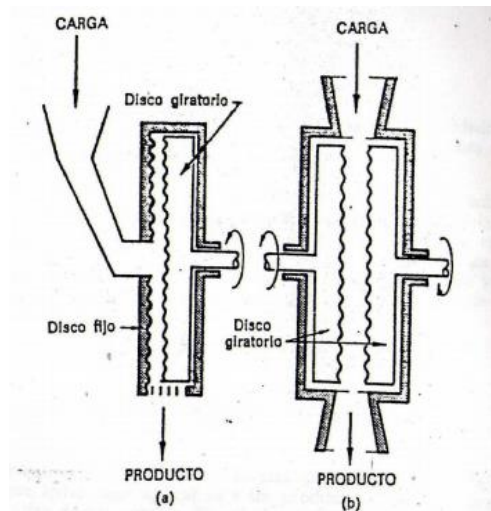


Figura 16. a) Molino de disco sencillo b) Molino de disco doble. Fuente: [20]

### 2.1.3 Molino de ultrafinos de bolas

El molino de bolas es utilizado en la industria para lograr una molienda fina o ultrafina, consta de un tambor cilíndrico el cual, rota a baja velocidad, en su interior está lleno de bolas de acero o barras.

Las bolas se mueven y provocan un efecto de cascada. Esto permite que el material dentro de la cámara sea molido mediante fricción y percusión. Así, la rotación y el impacto de las bolas con el material al caer favorecen la molienda [19].

El material ingresa por un extremo del cilindro y sale por su opuesto, existen tres formas de descarga:

- por rebalse (se utiliza para molienda húmeda)
- por diafragma
- por compartimentado (ambas se utilizan para molienda húmeda y seca)

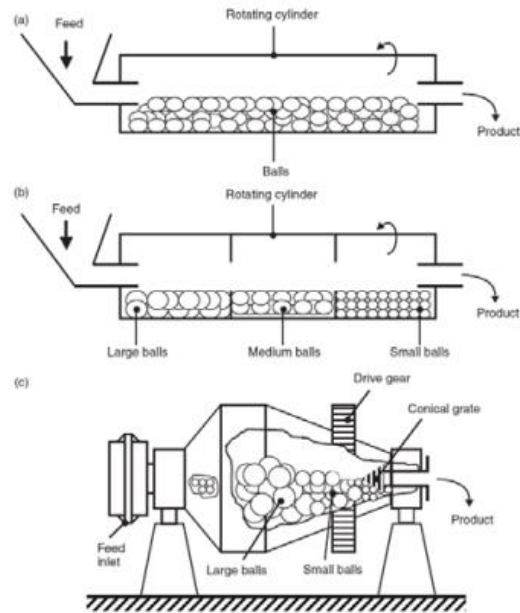


Figura 17 Molino a) por rebalse b) por diafragma c) por compartimiento. Fuente: [19]

## 2.2 Estudio de alternativas

Con el objetivo de comparar los distintos tipos de molinos y sus aplicaciones, se efectúa un análisis de las tres posibles alternativas con las cuales se podría triturar las hojas deshidratadas y así obtener mejores resultados en cuanto a producción y costos dentro de la elaboración del té en sachet.

### 2.3.1 Alternativa 1: Molino de rodillos

El molino de rodillos se compone de dos cilindros con superficie corrugada sobre ejes paralelos, que giran en sentido contrario y a velocidades iguales, generan una reducción de tamaño, desde grueso a intermedio en materiales de dureza media. Utiliza la fuerza de compresión para la molienda.

#### a. Ventajas

- Diseño de la máquina robusta y facilidad de mantenimiento
- Recomendado para materiales de dureza media
- Elevadas fuerzas de trituración
- Adecuado para la molienda de materiales húmedos

#### **b. Desventajas**

- Rango de reducción de tamaño del material a la salida de la maquina limitado a gruesos o intermedio
- No apto para la trituración de materiales duros o abrasivos
- Desgaste excesivo en los rodillos

### **2.3.2 Alternativa 2: Molino de martillos**

El molino de martillos impacta el producto en su interior, obteniéndose así partículas de tamaño medias o finas.

Al aplicarse mayores velocidades de giro, los martillos golpean el material y producen una fracturación rápida.

#### **a. Ventajas**

- Amplio rango de reducción de tamaño de las partículas
- Utilizado para la molienda de cualquier tipo de material y fibras
- Ideal para materiales de alta dureza

#### **b. Desventajas**

- Mantenimiento complicado
- Excesivo ruido y emisiones de polvo
- El tamaño de las partículas a la salida de la máquina no es uniforme

### **2.3.3 Alternativa 3: Molino de disco**

El molino de discos utiliza un método de trituración por rozamiento. Los discos pueden tener una superficie dentada u ondulada.

#### **a. Ventajas**

- Útil para la molienda fina
- Amplio rango de reducción de tamaño de las partículas
- La distancia entre los discos puede ser regulada
- Adecuada para la molienda de materiales frágiles

- Bajos costos

#### b. Desventajas

- Desgaste en los discos
- No apto para materiales duros
- Capacidad media
- Velocidad media

### 2.3 Selección de alternativa

En base a las características más relevantes que deberá tener la máquina se realizará la selección de la alternativa más apropiada y se evalúan los siguientes puntos con una calificación de 1 al 10:

#### 2.3.1 Costo de inversión

En la actualidad no se cuenta con un costo estimado de un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingrediente del té sachet, pero se estableció un costo razonable de 3000 dólares, en el que incluye el costo de diseño, la ingeniería aplicada y fabricación del molino.

En la Tabla 2 se indica una comparación de algunos tipos de molinos, considerando la inversión inicial. Para el costo de inversión el rango de valoración será del 1 al 10, siendo 1 costoso y 10 económico.

Tabla 2 Costo de la inversión inicial de los diferentes molinos

Costos										
Rango de valoración	Costo alto					Costo bajo				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Molino de rodillos										
Molino de martillos										
Molino de discos										

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

### **2.3.2 Facilidad de construcción**

El diseño del molino debe cumplir parámetros técnicos, que garanticen el máximo aprovechamiento de las hojas a ser trituradas sin generar desperdicios, de manera eficiente en la producción del ingrediente para el té sachet, así mismo debe ser versátil en el espacio físico de trabajo y que sea ergonómico y amigable con el operario, que genere seguridad antes, durante y luego de poner el equipo en funcionamiento.

Para este punto el rango de valoración es del 1 al 10, siendo 1, difícil construcción y 10, fácil construcción.

### **2.3.3 Grado de molienda**

En el Ecuador no existe una norma que describa el grado de molienda utilizado para plantas aromáticas, por lo tanto, se realizará un estudio de las infusiones aromáticas que existen a nivel nacional para determinar el grado de molienda al que fueron sometidas. El grado de trituración se define como la relación entre el tamaño de la partícula inicial y el tamaño de la partícula final del producto al salir de la molienda.

El rango de valoración para el grado de molienda es evaluado del 1 al 10, siendo 1, grado de molienda grueso o intermedio y 10, grado de molienda fina y ultra fino.

### **2.3.4 Capacidad de producción**

Es un parámetro importante a ser considerado en el diseño y construcción del equipo, se determina la capacidad de materia a ser triturada. De acuerdo con la producción actual de la fundación se necesita un molino con una capacidad de producción de 15 kg/h.

El rango de valoración se evalúa del 1 al 10, siendo 1, capacidad de producción alta y 10, capacidades de producción media.

### **2.3.5 Facilidad de operación**

Debido a las instalaciones eléctricas actuales en la fundación, el molino opera con un motor monofásico conectado a una toma de corriente de 110 V.

El rango de valoración para este punto es del 1 al 10, siendo 1 instalaciones eléctricas industriales y 10 instalaciones eléctricas domésticas.

### 2.3.6 Costos de mantenimiento y operación

Para determinar costos de mantenimiento se consideran:

- Costo de energía eléctrica
- Costos de operación
- Costos de mano de obra especializada
- Jornadas de trabajo del equipo

Para este punto el rango de valoración es del 1 al 10, siendo 1, mantenimiento costoso y demoroso y mantenimiento barato y menos prolongado.

Tabla 3 Análisis de alternativas

Alternativas					
Nº	Puntos por evaluarse	Molino de rodillos	Molino de martillos	Molino de discos	Rango de valoración
1	Costo de inversión	5	5	6	Del 1 al 10, siendo 1 costoso y 10 económico
2	Facilidad de construcción	6	4	7	Del 1 al 10, siendo 1 construcción difícil y 10 construcción fácil
3	Grado de molienda	1	5	9	Del 1 al 10, siendo 1 grado de molienda grueso e intermedio, 10 grado de molienda fino
4	Capacidad de operación	6	5	6	Del 1 al 10, siendo 1 producción alta y 10 producción media
5	Facilidad de operación	6	6	6	Del 1 al 10, siendo 1 red de 220 V y 10 red de 110 V
6	Costos de operación y mantenimiento	6	5	7	Del 1 al 10, siendo 1 mantenimiento costoso y demoroso, 10 mantenimiento barato y menos prolongado
Total		30	30	41	

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Del análisis de alternativas en la Tabla 3, se obtiene como resultado que el molino de discos es la alternativa más recomendable para diseñar y fabricar, que será usado en la molienda de hojas deshidratadas.

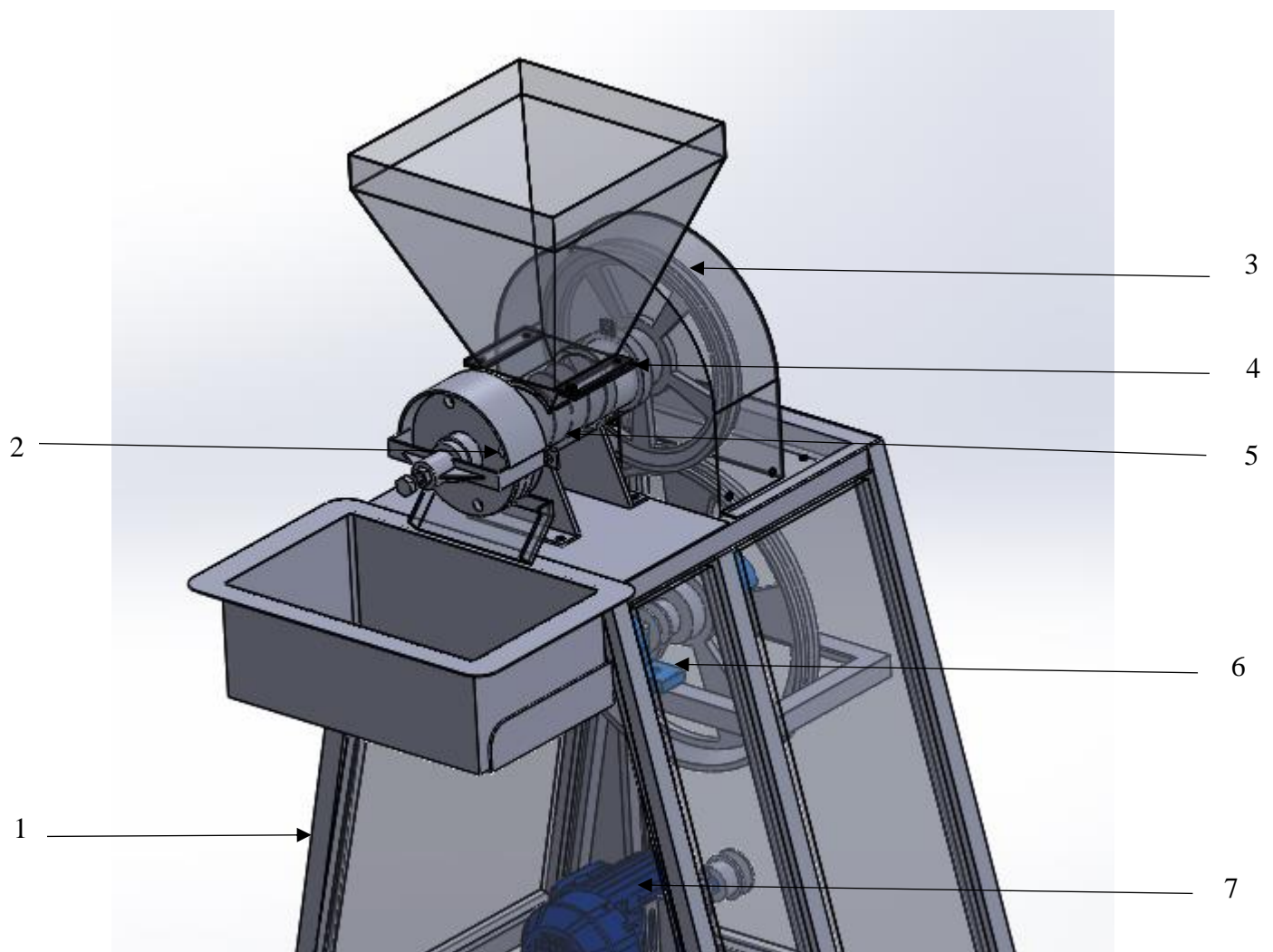


### CAPÍTULO III

#### DISEÑO DE PARTES Y SELECCIÓN DE MATERIALES

En este capítulo se realiza los cálculos de los elementos mecánicos que van a conformar el molino para triturar las hojas secas; además se seleccionara el material adecuado con respecto a la función que tiene cada elemento, se toma en cuenta que estos materiales deben estar de acuerdo a normas y especificaciones técnicas.

- **Elementos a Diseñar:**



1. Estructura de la mesa
2. Discos Dentados
3. Diámetros de las poleas
4. Selección de rodamiento
5. Eje y hélice del tornillo Transportador
6. Selección de chumacera
7. Selección del motor

### **3.1 Funcionamiento del molino triturador de hojas secas**

Las hojas secas van a entrar por una tolva que se encargará de mantener un gran volumen de ingreso. El ángulo de la tolva permite que las hojas secas se dosifiquen hacia el tornillo sinfín que se encargará de transportar las mismas hacia los discos dentados, donde ingresan a las dos caras que van a estar en contacto, que da como resultado un grado de molienda fina como requiere el usuario.

Todo este sistema mecánico será accionado por un motor y un sistema de reducción de velocidad, conformado por poleas que tendrá la potencia necesaria para realizar este trabajo.

Para el diseño del molino es necesario priorizar la potencia requerida para triturar hojas disecadas.

### **3.2 Capacidad de trituración del molino**

La capacidad de trituración prevista por La Fundación Salesiana El Salinerito tiene proyectado:

$$25 \left[ \frac{kg}{h} \right] \quad \text{Ec. 1}$$

Es necesario obtener la densidad de las hojas secas para obtener el flujo volumétrico.

### 3.3 Densidad de las hojas disecadas de plantas medicinales

La densidad de las hojas disecadas se le obtiene de manera experimental, con tubos de ensayo para tomar varias muestras de hojas secas trituradas.

Se inicia desde la fórmula de densidad que es [25]:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

$$m = \text{masa} [kg]$$

$$v = \text{volumen} [cm^3]$$

Para obtener la densidad se realiza el siguiente proceso:

- a. Se vierte  $40cm^3$  de agua en una probeta

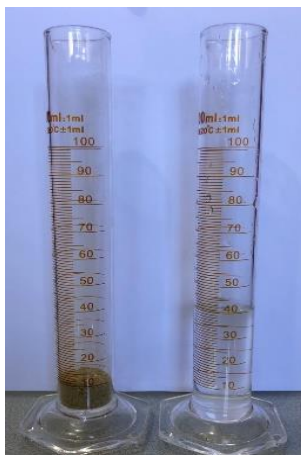


Figura 18 Tubos de ensayo. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- b. Se muele 1,5 gramos de hojas secas



Figura 19 Hojas molidas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- c. Se coloca los 1,5 gramos de hojas secas molidas sobre la probeta con agua



Figura 20 Tubo de ensayo con hojas molidas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- d. La diferencia de volúmenes da como resultado el volumen de las hojas secas molidas

$$v = v_f - v_i \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$v$  = Volumen de las hojas introducidas en las probetas  $[cm^3]$

$v_f$  = Volumen final  $[cm^3]$

$v_i = \text{Volumen inicial} [cm^3]$

e. Se obtiene los siguientes resultados

$$V = 40ml$$

$$V_f = 53ml$$

$$v = v_f - v_i \quad \text{Ec.4}$$

$$v = 53ml - 40ml$$

$$v = 13ml$$

$$v = 13ml = 13cm^3$$

f. Una vez obtenido el volumen se realiza lo siguiente:

$$m = 1,5 \text{ gramos}$$

$$v = 13cm^3$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec.5}$$

$$\rho = \frac{1,5gr}{13cm^3}$$

$$\rho = 0,11 \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

$$\rho = \frac{0,11gr}{cm^3} \left| \frac{1,10 \times 10^{-6} Ton}{1gr} \right| \left| \frac{(100cm)^3}{(1m)^3} \right|$$

$$\rho = 0,121 \left[ \frac{Ton}{m^3} \right]$$

### 3.4 Capacidad de trituración

Para calcular la capacidad de trituración se toma en cuenta la densidad y la capacidad establecida por el usuario [26].

$$\text{Densidad es: } \rho = 0,11 \left[ \frac{gr}{cm^3} \right] = 0,00011 \left[ \frac{kg}{cm^3} \right]$$

$$\text{Capacidad es: } 25 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

Con los datos obtenidos se cambia la capacidad de peso, por una capacidad en volumen.

$$Q = 25 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1cm^3}{0,00011[kg]} \cdot \frac{1m^3}{1,000.000cm^3} \quad \text{Ec. 6}$$

$$Q = 0,22 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

### 3.5 Relación de transmisión de las poleas

Para calcular la velocidad a la que va a trabajar el molino, es necesario revisar en tablas de los motores que tipo de velocidad se necesita para triturar hojas secas o también se puede utilizar un método experimental con un molino de las mismas características.

Como las hojas que se desean triturar son de origen exótico, no hay datos exactos que respalden la velocidad a la que debe girar un molino para triturarlas. Por tal motivo se lo hizo de manera experimental, de la siguiente manera:

- a) Se necesita un molino de fabricación artesanal tipo estrella, porque su grado de molienda es similar al que requiere este molino.
- b) Se ingresó un volumen de hojas secas por el molino, y se procedió a moler.
- c) Se tomaron datos del número revoluciones que hace en un minuto.

Tabla 4 Número de revoluciones por minuto

ITEM	CANTIDAD (gr)	TIEMPO	Nº REV
1	30	60	73
2	30	60	71
3	30	60	70
4	30	60	67
5	30	60	72
			<b>70,6</b>

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- d) Como resultado se obtuvo 70 revoluciones en cada minuto, y tenía un volumen de salida esperado.

Como conclusión el molino debe funcionar a 70 revoluciones por minuto porque la trituración de las 12 hojas secas de plantas medicinales debe ser de forma lenta por la diversidad de tamaño que ingresan en la cámara. No tienen una forma exacta y todas tienen una resistencia diferente. También la deshidratación de las hojas no es homogénea según datos que entregó la fundación familia Salesiana de Salinas “El Salinerito”, la humedad varía del 10 al 12%.

Ahora que se tiene las revoluciones a las que se debe girar para obtener el grado de molienda fino, se procede a calcular el juego de poleas que debe ir en la relación de transmisión.

Para partir con el cálculo, es toma en cuenta que el motor tiene una velocidad inicial de 1730 RPM [27] porque es la velocidad inicial de todos los motores.

$$n = N_{motor} \cdot \frac{P_{conductor a}}{P_{conducida}} \cdot \frac{P_{conductor a}}{P_{conducida}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$n = 1730 \cdot \frac{60mm}{350mm} \cdot \frac{60mm}{250mm}$$

$$n = 71.17 RPM$$

Como resultado se obtiene 71.17RPM, el número de revoluciones que se necesita para que el molino trabaje correctamente. Las poleas que se necesitan son:

- 1 polea de 60mm
- 1 polea de 350mm
- 1 polea de 250mm

### **3.6 Selección de bandas**

Para transmitir la potencia desde un eje conductor a un eje conducido, se utiliza un sistema de poleas porque es más económico y con el fin de mejorar la eficiencia se usarán bandas de perfil trapecial.

La banda que se usará es de sección transversal en forma de trapecio. Esta forma garantiza un aumento en la fuerza de fricción entre la polea y la correa.

Para la selección de la banda trapecial se tiene como datos:

- La potencia en el eje conducido (HP)
- La velocidad del eje motriz (rpm)
- La velocidad del eje conducido en (rpm)
- Los Inter ejes.

En la selección del tipo de banda (sección o perfil), se consideran las siguientes características:

#### **a. Factor de carga**

El factor de carga o servicio es un indicador que determina las condiciones de operación de un equipo cuyo movimiento es transmitido por 2 poleas, se considera el tiempo de funcionamiento, tipo de máquina motriz y máquina de trabajo. En la Tabla 6, se especifican las condiciones en las que operan las bandas.



Tabla 5 Factor de carga de servicio. Fuente: [28]

Ejemplos de máquinas de trabajo	Motores eléctricos sincrónicos			Motores eléctricos de alto par		
	Factor de carga funcionamiento diario en horas (h)			Factor de carga funcionamiento diario en horas (h)		
	hasta 10 h	10 a 16 h	más de 16 h	hasta 10 h	10 a 16 h	más de 16 h
<b>Transmisión ligera</b>						
Bombas centrífugas y compresores, cintas transportadoras para material ligero, ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<b>Transmisión media</b>						
Cizallas, prensas, transportadoras de cadenas de material pesado, máquinas herramientas (tornos, fresadoras), molinos, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<b>Transmisión pesada</b>						
Molinos, ascensores, maquinaria textil, bombas de pistones, molino de martillos.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<b>Transmisión muy pesada</b>						
Molinos de caga pesada, trituradores de piedra, mezcladoras, tornos, gruas, dragas	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

El factor de carga de servicio que se utiliza en el molino es de transmisión media y con motor eléctrico sincrónico que trabaja hasta 10 h.

$$f_{carga} = 1,1$$

### b. Potencia teoría

Es la potencia estimada requerida en HP, utilizada para realizar el trabajo de trituración para este caso tiene un valor de  $P_{requerida} = 1[HP]$ .

### c. Potencia para diseñar

Para seleccionar la banda la potencia utilizada es la que resulta del producto entre un factor de servicio y una potencia teórica, de acuerdo a la ecuación 8.

$$P_{diseño} = f_{carga} \cdot P_{requerida}$$

Ec. 8

$$P_{diseño} = 1,1 \cdot 1 = 1,1 [HP]$$

#### d. Selección de la correa

Para seleccionar el perfil de la Figura 21 se ubica sobre el eje X el valor de la potencia diseño para este caso es de  $P_{diseño} = 1,1 [HP]$ , y sobre el eje Y, el número de revoluciones de la polea más rápida tiene un valor de  $730 [rpm]$ . La intersección de ambas rectas nos determina el perfil más conveniente a usarse.

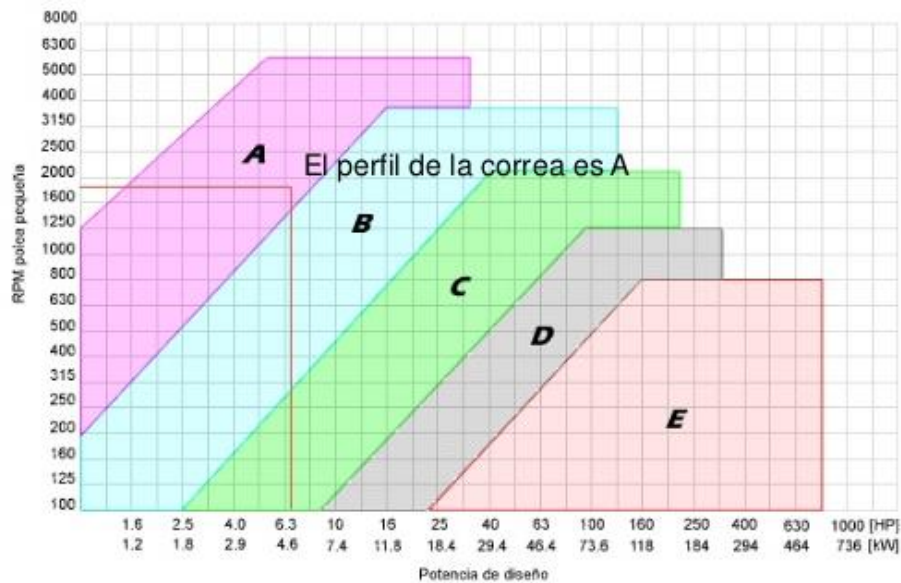


Figura 21 Tabla para seleccionar correa. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

En la Tabla con los datos obtenidos se selecciona el perfil de la correa y es de sección A.

### 3.6.1 Longitud de la correa

Para seleccionar la correa del catálogo representado en la Figura 22, es necesario calcular la longitud de la correa con la ecuación 9.

$$L = \frac{(D_1 + D_2) \cdot \pi}{2} + 2 \cdot c \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

L= longitud de correa

c=distancia entre ejes

D<sub>1</sub>= diámetro de polea conductora

D<sub>2</sub>= diámetro de polea conducida

$$L = \frac{(2+10) \cdot \pi}{2} + 2 \cdot 13$$

$$L = 44,849'' = 1139.18[mm]$$

PERFIL AX / A				GOODYEAR	
REF.		Lw. (mm)	REF.		Lw. (mm)
AX 16		440	AX 44		1150
AX 17		465	AX 45		1175
AX 18		490	AX 46		1200
AX 19		510	AX 46,5		1210
AX 20		540	AX 47		1230
AX 21		570	AX 48		1250
AX 22		590	AX 49		1280
AX 22,5		605	AX 50		1300
AX 23		620	AX 51		1330
AX 23,5		630	AX 52		1360
AX 24		640	AX 53		1380
AX 25		660	AX 54		1410
			AX 86		2220
			AX 87		2240
			AX 88		2270
			AX 89		2300
			AX 90		2320
			AX 91		2340
			AX 92		2340
			AX 93		2370
			AX 94		2400
			AX 95		2420
			AX 96		2450
			AX 97		2480

Figura 22 Bandas de perfil trapecial AX. Fuente: [29]

Del catálogo de bandas se selecciona el perfil AX ref. 44 con una  $L_w=1150$  mm.

### 3.7 Selección de materiales para la polea

Para abaratar costos se debe comprar las poleas, porque fabricar significa dinero y tiempo, generalmente las poleas vienen en aluminio y la selección de estas se lo realiza según tablas.

### 3.8 Potencia requerida para el eje motriz

Para determinar la potencia que se necesita en el eje motriz es necesario determinar 3 factores:

- El momento de inercia
- La aceleración angular del eje
- El torque del eje motriz

#### 3.8.1 Momento de Inercia del eje motriz

Al aplicar la ecuación general de la inercia para cilindros se determina el momento de inercia del eje principal [30].

$$I_{eje} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot L}{32} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$I_{eje}$  = Inercia de la masa total  $[kg \cdot m^2]$

$D_e$  = Diámetro del eje  $[m]$

$\rho$  = Densidad del acero Inox A304,  $7800 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$L$  = Longitud del eje  $[m]$

En la Figura 23 se muestra un esquema del eje del tornillo de arrastre, donde se detalla cada parte del eje.

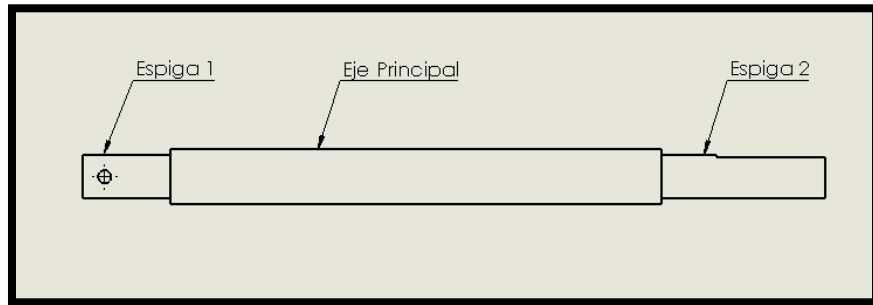


Figura 23 Esquema del eje principal. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Para el eje principal se considera un diámetro de 25.4mm y una longitud de 224mm

$$I_{eje} = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot L}{32}$$

$$I_{eje} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{25.4}{1000}\right)^4 \cdot \left(\frac{224mm}{1000}\right) \cdot 7800}{32}$$

$$I_{eje} = 7,13 \times 10^{-5} [Kg \cdot m^2]$$

$$I_{espiga2} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{20}{1000}\right)^4 \cdot \left(\frac{40mm}{1000}\right) \cdot 7800}{32}$$

$$I_{espiga2} = 4,90 \times 10^{-5} [Kg \cdot m^2]$$

$$I_{espiga1} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{20}{1000}\right)^4 \cdot \left(\frac{75mm}{1000}\right) \cdot 7800}{32}$$

$$I_{eje} = 2,39 \times 10^{-5} [Kg \cdot m^2]$$

$$Inercia_{Total} = I_{eje} + I_{espiga1} + I_{espiga2}$$

Ec. 11

$$\begin{aligned}
Inercia_{Total} &= I_{eje} + I_{espiga1} + I_{espiga2} \\
Inercia_{Total} &= 7,13 \times 10^{-5} + 4,90 \times 10^{-5} + 2,39 \times 10^{-5} \\
Inercia_{Total} &= 0,0001 \times 10^{-4}
\end{aligned}$$

### 3.8.2 Cálculo de la Aceleración Angular

Para calcular la aceleración angular se debe tener el número de revoluciones a la que debe girar el tornillo y el tiempo que necesita una máquina para que establezca su funcionamiento. Se utiliza la siguiente ecuación [26]:

$$w = w_o + \alpha \cdot t \quad \text{Ec. 12}$$

De donde:

$$t = \text{Tiempo [s]}$$

$$w_o = \text{Velocidad angular inicial} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$w = \text{Velocidad angular} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$\alpha = \text{Aceleración angular} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

Para que el molino alcance su funcionamiento se estima un tiempo alrededor de 0,18 segundos.

Cuando la máquina parte del reposo en su funcionamiento la velocidad angular inicial es igual a cero.

Entonces, se obtiene lo siguiente:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad \text{Ec. 13}$$

La velocidad angular final es la que requiere la máquina para su funcionamiento, entonces se toma la calculada en la ecuación 14.

$$\begin{aligned} \omega &= 70 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} \cdot \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} \\ \omega &= 7,33 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \end{aligned} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{7,33 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0,18 \text{s}} \\ \alpha &= 40,72 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] \end{aligned}$$

### 3.8.3 Torque en el eje principal

Una vez obtenidos el momento de inercia y la aceleración angular, se reemplaza los valores en la siguiente ecuación:

$$T = I \cdot \alpha \quad \text{Ec. 15}$$

$$T = 1 \times 10^{-4} (40,72) \left[ kg.m^2 \right] \left[ \frac{rad}{s^2} \right]$$

$$T = 0,004 [Nm]$$

Como resultado se obtiene el torque que se aplica en el eje principal.

#### 3.8.4 Potencia necesaria en el eje motriz

Se reemplaza los valores de velocidad angular y torque en la ecuación 16 y se obtiene la potencia necesaria en el eje.

$$P = T.\omega \quad \text{Ec. 16}$$

$$P = 0,004 [Nm] 7,33 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 0,029 [watt]$$

Como resultado se obtiene la potencia que necesita el eje principal para girar.

#### 3.9 Fuerza para triturar hojas secas

Para calcular la fuerza que se necesita para triturar hojas disecadas medicinales se realizaron ensayos experimentales de la siguiente manera:

- a. Se utilizó un dinamómetro para tomar datos de la fuerza en kgf que se necesitaba para girar el tornillo para triturar.





Figura 24 Dinamometro. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- b. Se utilizó un molino de fabricación artesanal, porque tiene un grado de molienda bastante fino, y es similar al grado de molienda que se desea obtener.



Figura 25 Molino artesanal. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami



Figura 26 Hojas secas molidas en el molino artesanal. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- c. Se giraba la palanca con el dinamómetro y se obtenían datos cada media vuelta, de subida y de bajada hasta completar una revolución, se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 6 Cargas que requiere para girar el tornillo en vacío

1/2 Vuelta Descenso (Kgf)	1/2 Vuelta Ascenso (Kgf)	1 Vuelta (Kgf)
0,5	0,5	1
0,3	0,6	0,9
0,3	0,75	1,05
0,3	0,6	0,9
Promedio		0,9625

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Como resultado se obtuvo un promedio de  $0,9625\text{kgf}$  que se necesitaba para girar el tornillo en vacío

Tabla 7 Cargas que requiere para girar el tornillo lleno

1/2 Vuelta Descenso (Kgf)	1/2 Vuelta Ascenso (Kgf)	1 Vuelta (Kgf)
1,8	2,9	4,7
2,5	3	5,5
3	4	7
3,5	4,5	8
2,5	5	7,5
3,5	3,5	7
Promedio		6,6166667

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Se obtiene un promedio de  $6,6166kgf$  que se necesitaba para girar el tornillo lleno de hojas secas. Es decir que para cada revolución se necesita esta fuerza para triturar las hojas secas.

Para calcular la potencia de trituración se debe obtener el torque que genera la fuerza para triturar hojas secas

Para encontrar la carga en Newton se multiplica por la gravedad de la siguiente manera:

Cargas generadas del tornillo lleno =  $6,61kg$

$$P = 6,61kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 64,77[N]$$

Una vez obtenida la carga se multiplica por la longitud de la palanca para encontrar la torsión, en este caso el molino que se utilizó para realizar las pruebas tenía una palanca de 205mm.

$$T = 64,77N \cdot \frac{205mm}{1000} \left| \frac{m}{mm} \right|$$

$$T = 13,27[Nm]$$

### 3.10 Potencia Trituración

Una vez obtenida el torque se procede a multiplicar con la velocidad angular del eje y se obtiene como resultado la potencia de trituración de hojas secas.

$$P = T \cdot \omega \quad \text{Ec. 17}$$

$$P = 13,27[Nm]7,33\left[\frac{rad}{s}\right]$$

$$P = 97,26\left[\frac{Nm}{s}\right]$$

### 3.11 Potencia Total requerida para triturar hojas secas

Se suma la potencia que necesita para triturar las hojas secas y la potencia requerida en el eje.

$$PT = P_{trituracion} + P_{eje} \quad \text{Ec. 18}$$

$$PT = 97,26 + 0,028\left[\frac{Nm}{s}\right]$$

$$PT = 97,28[Watt] = 0,130[hp]$$

### 3.12 Selección del Motor

Para seleccionar el motor es necesario considerar el factor de servicio  $f_s = 1,05$ , por lo tanto la potencia total necesaria queda de la siguiente manera [31]:

$$P_{TOTAL} = P_{Requerida} \cdot f_s \quad \text{Ec. 19}$$

$$P_{TOTAL} = 0,130[hp] \cdot 1,05$$

$$P_{TOTAL} = 0,136[hp]$$

Para este proyecto se tiene un motor de 1hp que está destinado a la construcción de este molino de hojas secas medicinales.

### **3.13 Diseño de los discos dentados**

Los discos tienen algunas características fundamentales para su funcionamiento, cada uno de ellos cumple un rol específico y todos unidos darán como resultado una excelente molienda.

Se debe considerar que para el disco estático puede variar algunas características en relación al disco giratorio.

#### **3.13.1 Disco Estático**

Las características para el disco estático que se debe tomar en cuenta son:

#### **3.13.2 Número de entradas**

Las entradas deben fabricarse de acuerdo con las medidas del material que desea molerse. En este caso se debe tomar la hoja más grande y diseñar de acuerdo con la medida de esta hoja.

De todas las 12 tipas de hojas secas medicinales que se desean moler, la chuquiragua es la más grande, porque se utiliza en forma de flor.



Figura 27 Muestras de flor chuquiragua. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Para el diseño de la entrada se toma medidas de todas las Chuquiraguas que se tiene como muestra y se realiza un promedio



Figura 28 Toma de medidas de la chuquiragua. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Y se obtienen los siguientes datos:

Tabla 8 Valores de cada chuquiragua medida

Item	Diámetro de Chuquiragua (mm)
1	15
2	17
3	18
4	20
5	19
Promedio	17,8

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Como promedio esta un diámetro de 17,8mm que debería tener la entrada para que ingrese la flor sin ningún inconveniente, sin embargo, por seguridad se diseñara con un diámetro de 1 pulgada. Se considera que las hojas son irregulares y por facilidad de fabricación se realizara 8 entradas en el disco estático.

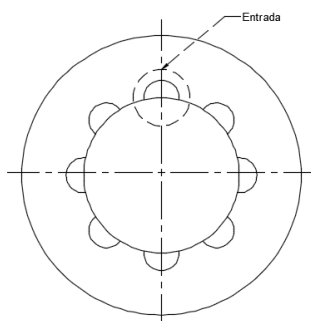


Figura 29 Entradas del disco. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

### 3.13.3 Nervios principales

Los nervios principales son esenciales en el disco, porque evitan el retroceso del material, su forma robusta arrastra las hojas secas por el movimiento del disco giratorio que también debe tener nervios. Por cada entrada es necesario un nervio principal.

Cada nervio tiene un ángulo diferente, este ángulo debe ser tangencial a las entradas y al diámetro interior del disco.

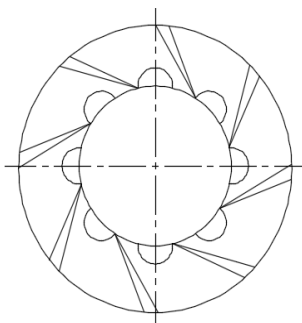


Figura 30 Nervios principales del disco. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 3.13.4 Ranuras

Cada ranura debe ir acorde al ángulo de cada nervio principal y con una profundidad en función del grado de molienda.

Para encontrar la profundidad de la ranura, se procede a tomar medidas del grano que tiene un té de sachet donde encontramos el producto final. Las medidas varían menores a 1 milímetro, se selecciona un grado de molienda fino, por tal motivo la profundidad y el espesor de las ranuras no será mayor a 1mm.

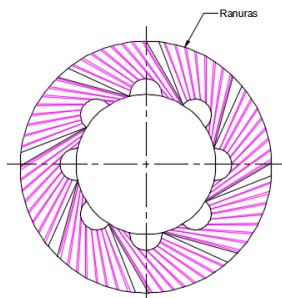


Figura 31 Ranuras dentadas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami



### 3.13.5 Ángulo de ingreso

La cara del disco para el ingreso del material debe tener un ángulo de acuerdo al material que se desea moler, en este caso como son hojas medicinales disecadas, se va a optar por un ángulo poco pronunciado de 2 grados.

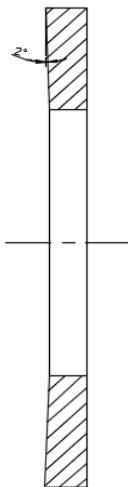


Figura 32 Ángulo de inclinacion para el ingreso del material. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Esta forma cónica del disco permite el ingreso de las hojas secas durante cada revolución y en conjunto con la ayuda de las demás características facilita la molienda del material.

### 3.13.6 Disco giratorio

Las características para diseñar el disco giratorio son similares al disco estático, con la única diferencia que este no requiere entradas y su diámetro interior es más pequeño; además, este disco no necesita ángulo de ingreso

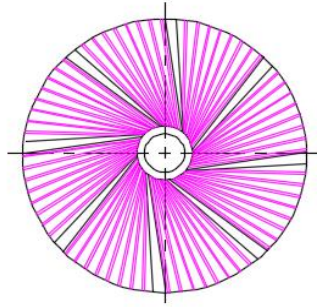


Figura 33 Diseño de disco giratorio. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

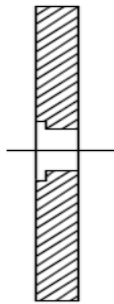


Figura 34 Planicidad del disco giratorio. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

### 3.13.7 Selección de material para los discos dentados

Para el trabajo que van a realizar los discos se requiere un material capaz de soportar la fricción que va a existir cuando estén en contacto, además debe cumplir con las normas de grado alimenticio.

Por tal motivo se ha seleccionado un acero inoxidable martensítico M303 templado con una dureza de 47.6 HRC porque sus propiedades lo hacen resistente al desgaste y tiene buena tenacidad, además de que sí existe en nuestro mercado.

### 3.13.8 Peso del disco

Es necesario obtener el peso del disco, para conocer la carga que este puede generar en el eje, y se lo debe incluir en el diseño, por ese motivo se lo calcula de la siguiente manera:

$$Peso = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot L}{4,000,000} \cdot \rho \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

$D$  = Diámetro del Disco  $[mm]$

$L$  = Longitud del disco  $[mm]$

$\rho$  = Densidad del acero Inoxidable  $7,86 \left[ \frac{kg}{mm^3} \right]$

$$Peso = \frac{(146mm)^2 \cdot \pi \cdot (11mm)}{4,000,000} \cdot 7,86 \left[ \frac{kg}{mm^3} \right]$$

Peso = 1,44 kg

Como resultado se tiene que el peso del disco fijo es de 1,44 kilogramos. Para calcular el peso del otro disco se realiza el mismo procedimiento.

$PesoDisco1 = 1,44kg$

$PesoDisco2 = 2,56kg$

$Ptotal = 4kg$

Una vez obtenido el peso total, se procede a transformar en unidad de fuerza

$$C \arg a = 4[kg]9,81\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$C \arg a = P2 = 39,24[N]$$

### 3.14 Cálculo del tornillo transportador

#### 3.14.1 Tornillo Transportador

Para el diseño del tornillo transportador se considera el tipo y la cantidad del material a transportar, también se considera que los 12 tipos de hojas secas son de diferentes características y no poseen una forma exacta.

El tornillo está compuesto por una hélice y un eje, la hélice debe tener el suficiente espacio para arrastrar el material a triturar sin ninguna dificultad. Por ese motivo se propone un paso de la hélice de 25mm

Como datos iniciales se tiene que el tornillo transportador debe arrastrar 25kg en una hora y las revoluciones a las que debe girar el tornillo son de 70 RPM.

Con estos datos se procede a realizar los respectivos cálculos.

#### 3.14.2 Área del relleno del canalón

El área del canalón es la parte interna de la cámara donde van las hojas secas, y se representa con la siguiente ecuación [32]:

$$S = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{Ec. 21}$$

$S$  = Área del relleno del canalón

$\lambda$  = Coeficiente de relleno

$D$  = Diámetro

Para el diámetro de la cámara está propuesto utilizar 80mm, se considera que esta medida debe cubrir con el volumen de ingreso del material. Para el coeficiente de relleno se toma en cuenta una carga no abrasiva y ligera, por lo tanto, el  $\lambda = 0,4$  como se encuentra en la Tabla del Anexo 1.

$$S = \frac{0,4 \cdot \pi \left( \frac{80}{1000} \right)^2}{4}$$
$$S = 0,002 [m^2]$$

### 3.14.3 Velocidad de desplazamiento

La velocidad de desplazamiento del tornillo transportador debe ser calculada de la siguiente manera:

$$V = \frac{P \cdot n}{60} \quad \text{Ec. 22}$$

$V$  = Velocidad de desplazamiento del tornillo transportador

$P$  = Paso del tornillo

$n$  = Numero de revoluciones del tornillo

$$V = \frac{\left( \frac{25}{1000} m \right) \cdot 7,33 \frac{rad}{s}}{60}$$

$$V = 0,18 \frac{m}{s}$$

### 3.14.4 Flujo de material transportado

Para calcular el flujo de material que será transportado se toma en cuenta la capacidad que tiene el molino que es de 25 kilogramos por hora, con este dato se procede a calcular el área del canalón y se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\mathcal{G} = 3600 \cdot s \cdot v \cdot \rho \cdot k \quad \text{Ec. 23}$$

$\mathcal{G}$  = Flujo de material transportado

$s$  = Área del canalón

$v$  = Velocidad de desplazamiento

$\rho$  = Densidad del material a transportar

$k$  = Coeficiente de disminución del flujo de material

Tabla 9 Coeficiente de disminución de flujo de material

Inclinacion del canalon	0°	5°	10°	15°	20°
k	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

El coeficiente de disminución del tornillo es de 1 por que todo el tornillo trabajara en posicion horizontal sin ningun grado de inclinación.

Se reemplaza los valores en la ecuación de flujo de material y se despeja el área del canalon y se obtiene:

$$\mathcal{G} = 3600 s \cdot v \cdot \rho \cdot i \quad \text{Ec. 24}$$

$$Q = 3600 \text{ s.v.} \rho \cdot i$$

$$Q = 3600 \cdot (0,002 \text{ m}^2 \cdot 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 110 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1)$$

$$Q = 5132,16 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Con el resultado del flujo de material se concluye que abastece sin ninguna dificultad a toda la producción que requiere el usuario.

Para el inicio del proyecto se dispone de un eje de 225mm de longitud, el cual se busca reutilizarlo para la construcción del tornillo transportador. Por tal motivo se parte de esta longitud para el diseño del eje.

### 3.14.5 Potencia de Accionamiento

La potencia que necesita el tornillo transportador es la sumatoria total de todas las potencias en fase estacionaria, se expresa de la siguiente manera:

$$P = P_H + P_N + P_{St} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

$P_H$  = Es la potencia requerida para el desplazamiento horizontal

$P_N$  = Es la potencia de accionamiento del tornillo transportador en vacío

$P_{St}$  = Es la potencia necesaria para un tornillo transportador inclinado

### 3.14.6 Potencia de desplazamiento horizontal

$$PH = C_o \cdot \frac{g \cdot L}{367} \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

$C_o$  = Coeficiente de resistencia del material

$g$  = Flujo de material transportado

$L$  = Longitud del tornillo

Tabla 11 Coeficiente de resistencia de material

<b>Material</b>	<b>Co Empírico</b>
Harina, serrín y productos	1.2
Turba, sosa, polvo de carbón	1.6
Antracita, carbón, sal de roca	2.5
Yeso, arcilla seca, tierra fina,	4

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

De acuerdo con la tabla 8 se escoge el coeficiente 1,2 por que el material a ser triturado es orgánico, además las 12 hojas de plantas medicinales no tienen una tabla específica de su coeficiente de resistencia.

Se reemplaza los valores se obtiene la potencia de accionamiento horizontal

$$PH = C_o \cdot \frac{g \cdot L}{367} \quad \text{Ec. 27}$$



$$PH = \frac{1,2 \cdot (5132.16) \frac{Ton}{h} \cdot \left( \frac{224mm}{1000} \right)}{367}$$

$$PH = 0,0002 [KW]$$

### 3.14.7 Potencia de accionamiento del tornillo en vacío

Para el accionamiento del tornillo en vacío se lo encuentra con la siguiente fórmula:

PN=Potencia de Accionamiento en vacío.

$$PN = \frac{D \cdot L}{20} \quad \text{Ec. 28}$$

$$PN = \frac{\left( \frac{80}{1000} \right) \left( \frac{274}{1000} \right)}{20}$$

$$PN = 0,0008 [KW]$$

Una vez obtenida la potencia de accionamiento del tornillo en vacío y la potencia de desplazamiento horizontal, se procede a reemplazar estos valores en la ecuación 3.28. Tomando en cuenta que la potencia que requiere un tornillo en posición inclinada es cero porque no tiene ángulo de inclinación.

$$PTOTAL = PH + PN \quad \text{Ec 29}$$

$$P_{Total} = 0,001 [KW]$$

### 3.15 Diseño del eje motriz

Para diseñar el eje motriz es necesario considerar la carga puntual y distribuida que puede actuar sobre el eje, para luego encontrar el momento máximo. Y de acuerdo a este resultado se selecciona las dimensiones más convenientes.

### 3.15.1 Diagrama de cuerpo libre del eje principal

En la Figura 35 se aprecia todas las cargas que actúan sobre el eje.

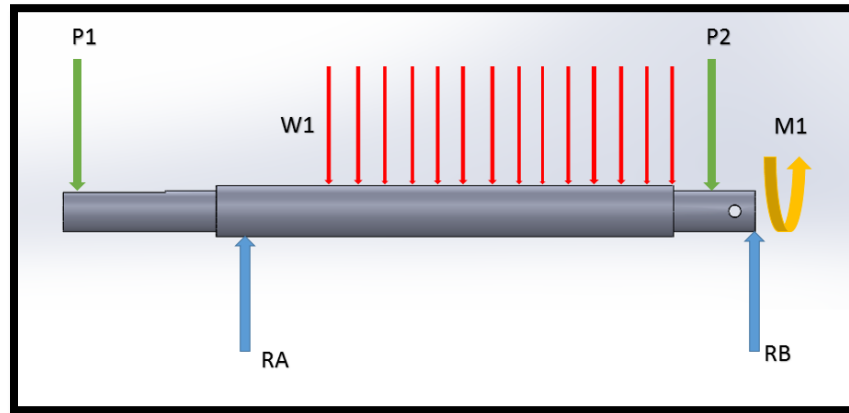


Figura 35 Diagrama de cuerpo libre del eje motriz. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

### 3.15.2 Cálculo del momento flector y fuerza cortante

Para encontrar la carga P1 se debe partir de la potencia total necesaria para la trituración de las hojas disecadas medicinales y también para poder transmitir movimiento al mecanismo.

$$P = T \cdot w \quad \text{Ec. 30}$$

En donde:

$$P = \text{Potencia total necesaria para moler hojas disecadas} \left[ N \cdot \frac{mm}{s} \right]$$

$$T = \text{Torque} \left[ N \cdot mm \right]$$

$$w = \text{Velocidad angular} \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$T = \frac{97,28 \frac{N \cdot m}{s}}{7,33 \frac{rad}{s}}$$

$$T = 13,27 [N \cdot m]$$

$$T = 13271,48 [N \cdot mm]$$

Una vez obtenida el torque se procede a utilizar la siguiente ecuación para encontrar P1

$$T = F \cdot r \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

$T = \text{Torque}$

$F = \text{Fuerza}$

$r = \text{Dist}$

$$F = P1$$

$$P1 = \frac{T}{r}$$

$$P1 = \left[ \frac{13271.48 Nmm}{10mm} \right] \Rightarrow P1 = 1327,14 [N]$$

Para determinar la carga distribuida W1 se debe tomar en cuenta el peso de cada aleta cuya función es transportar las hojas secas. Pero para obtener el diámetro de la hélice y su espesor se lo hace mediante tablas. Como ya se calculó el diámetro de la cámara y el espesor de la aleta se procede a calcular su peso de la siguiente manera:

$$Peso = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot L}{4,000,000} \cdot 7.86 \quad \text{Ec. 32}$$

$$Peso = \frac{\left(\frac{78}{1000}\right)^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{2mm}{1000}\right) \cdot 786}{4,000,000}$$

$$Peso = 0,075kg$$

Una vez obtenido el peso, se debe multiplicar por el número de aletas que conforma toda la hélice. En este caso son 7 revoluciones que conforma toda la hélice.

$$m = 0,075kg$$

$$0,075 \times 7 = 0,52$$

$$P = m \cdot g$$

Ec. 33

$$P = 0,52kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 5,16[N]$$

La carga que genera las aletas, sobre todo el eje, se lo debe dejar interpretado en forma de carga distribuida, por ese motivo se le divide para la longitud donde actúan las hélices.

Entonces queda demostrado de la siguiente manera:

$$W1 = \frac{P}{L_{Hélice}}$$

Ec. 34

$$W1 = \frac{5,16[N]}{176,4[mm]}$$

$$W1 = 0,031 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

En el diagrama de cuerpo libre se puede apreciar una torsión que se produce por la resistencia que tienen las hojas al molerse y por la fricción que se produce cuando están en contacto los discos dentados.

Para encontrar la torsión, primero se debe calcular la carga, por tal motivo, en este caso es necesario aplicar la ecuación de la fricción.

$$P_3 = F \cdot K \cdot g \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

$F$  = Fuerza que se necesita para moler  $[6,6kg]$

$K$  = Coeficiente de fricción

$g$  = Gravedad  $\left[9,81 \frac{m}{s^2}\right]$

Para determinar el coeficiente de fricción se pudo encontrar en tablas, y se seleccionó el coeficiente de fricción de acero con acero, que de forma general es 0,18.

$$P_3 = 6,6[Kg] \cdot 0,18 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_3 = 11,65[N]$$

Esta carga se multiplica por la distancia donde se produce la fricción entre los dos discos dentados que es de 70mm.

$$M_1 = P_3 \cdot d \quad \text{Ec. 36}$$

$$M_1 = 11,65[N] \cdot 70[mm]$$

$$M_1 = 815,5[N \cdot mm]$$

## - Gráficas

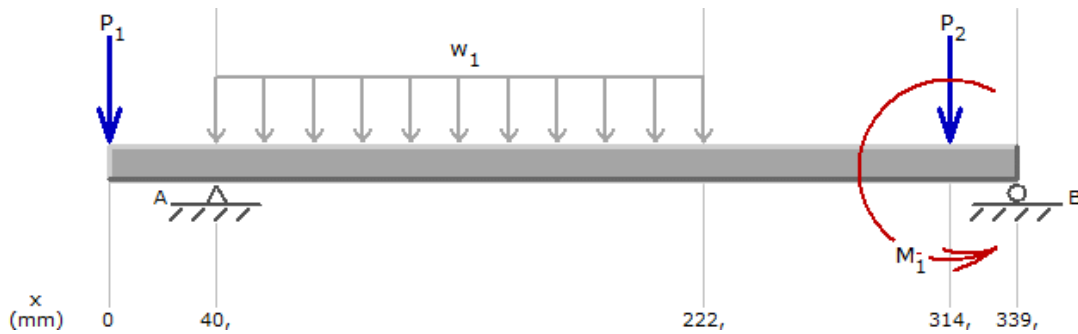


Figura 36 Cargas principales en el eje . Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

En el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 36 se aplica todas las condiciones de equilibrio en los planos X-Y, empleando el software MDSolids 3.6 para obtener los diagramas de esfuerzos cortantes y momento de flexión demostrados en la Figura 37 y Figura 38 respectivamente.

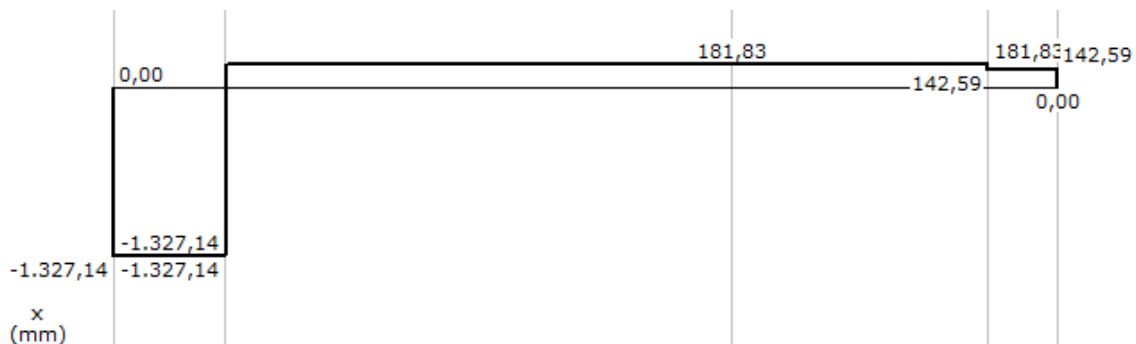


Figura 37 Diagrama de fuerza cortante. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

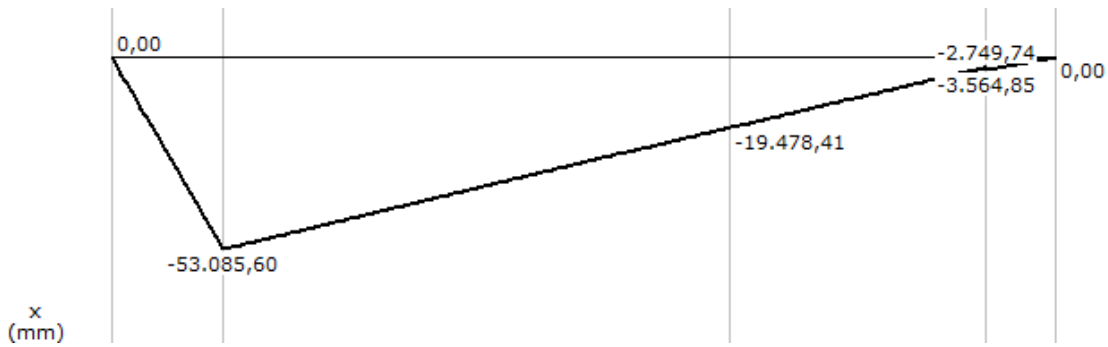


Figura 38 Diagrama de momento flexionante. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

El punto máximo en el eje motriz se encuentra en el apoyo A donde se ubica el rodamiento, esta sección del eje tiene un diámetro de 20mm.

Las reacciones que se obtienen como resultado son:

$$R_{Ay} = 1514,17 [N]$$

$$R_{By} = 147,44 [N]$$

La reacción  $R_{Ay}$  corresponde al punto donde va el rodamiento.

La reacción  $R_{By}$  corresponde al punto donde va la esfera y la nariz reguladora que también trabaja como apoyo del eje

### 3.15.3 Diseño estático del eje

Para realizar el análisis estático se considera los esfuerzos en el punto más crítico de todo el eje, donde puede estar sometido a cargas estáticas de compresión.

Este análisis nos sirve para tener una estimación de las dimensiones del eje [33].

#### - Esfuerzo normal máximo

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M \max}{\pi \cdot D^3} \quad \text{Ec. 37}$$

$$\sigma_x = \frac{32(53085,60)}{\pi(20)^3}$$

$$\sigma_x = 67,59 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

- **Esfuerzo de torsión**

$$Z_{xy} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D^3} \quad \text{Ec. 38}$$

$$Z_{xy} = \frac{16(13271,48)}{\pi(20)^3}$$

$$Z_{xy} = 8,44 \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

- **Teoría de energía de distorsión**

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot Z_{xy}^2} \quad \text{Ec. 39}$$

$$\sigma' = \sqrt{(67,58)^2 + 3(8,44)^2}$$

$$\sigma' = 69,14 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$



- **Factor de seguridad**

$$N \cdot \sigma' = S_y \quad \text{Ec. 40}$$

$$N = \frac{276 \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right]}{69,14 \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right]}$$

$$N = 4$$

- **Diseño del diámetro del eje motriz utilizando un factor de seguridad**

Para realizar un diseño que satisfaga las necesidades del usuario y garantice el buen funcionamiento del equipo, debe tener un factor de seguridad mayor a 1, sin embargo, el diseño debe considerar ciertos factores como funcionalidad, resistencia y economía, por tal motivo se plantea para esta máquina de tipo alimenticio utilizar un factor de seguridad de 4. Para iniciar con el cálculo se usa un factor de seguridad de 4 y se realiza el cálculo del diámetro de la siguiente manera:

$$d = \left[ \frac{32 \cdot n}{\pi \cdot S_y} \cdot \sqrt{M^2 + \frac{3}{4} T^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 41}$$

$$d = \left[ \frac{32 \cdot (4)}{\pi \cdot (278)} \cdot \sqrt{53085,60^2 + \frac{3}{4} \cdot 13271,48^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 19,96 \text{ mm}$$

Con un factor de seguridad de 4 da como resultado un diámetro de 19,96mm. Por facilidad de mecanizado se seleccionará un diámetro de 1 pulgada equivalente a 25.4mm, porque es una medida más comercial y también se acopla a un rodamiento de esta medida.

Para encontrar el factor de seguridad del eje con el diámetro seleccionado se procede a despejar de la ecuación 41 de la siguiente manera:

$$d = \left[ \frac{32 \cdot n}{\pi \cdot S_y} \cdot \sqrt{M^2 + \frac{3}{4} T^2} \right]^{1/3}$$

$$n = \frac{d^3}{\sqrt{M^2 + \frac{3}{4} T^2}} \cdot \pi \cdot S_y$$

$$n = \frac{(25.4)^3}{\sqrt{(53085.6)^2 + \frac{3}{4} (13271.48)^2}} \cdot \pi \cdot 278$$

$$n = 8.23$$

Se puede conocer que con el diámetro de una pulgada se obtiene un factor de seguridad de 8.23. Con este factor de seguridad se garantiza un buen funcionamiento del eje.

### 3.15.4 Diseño dinámico del eje

El cálculo dinámico permite establecer el modo de falla de los elementos en condiciones no estáticas. Este cálculo pretende optimizar el diseño y asegura de que el elemento no presente falla.

Límite de Resistencia

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e' \quad \text{Ec.42}$$

Donde:

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

$S'_e$  = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

$k_a$  = Factor de superficie

$k_b$  = Factor de tamaño

$k_c$  = Factor de modificación por concentración de esfuerzos

$k_d$  = Factor de temperatura

$k_e$  = Factor de confiabilidad

$k_f$  = Factor de efectos diversos

- **Propiedades mecánicas del acero inox A304 Según Shigley**

$S_u = 568 \text{ MPa}$

$S_y = 276 \text{ MPa}$

- **Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria**

$S_e' = 0,5(S_{ut})$

$S_e' = 0,5(568)$

$S_e' = 284 \text{ MPa}$

- **Factor de superficie**

Es el factor que depende del acabado superficial del elemento, este puede ser esmerilado, maquinado o laminado.

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Ec. 43

Tabla 10 Factor de acabado superficial

ACABADO SUPERFICIAL	FACTOR a		EXPONENTE b
	[Kpsi]	Mpa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frio	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Para seleccionar el factor a y el exponente b se asume que el elemento es de un material previamente mecanizado, por este motivo se reemplaza los valores obtenidos de la tabla y se aplican en la ecuación 43

$$Ka = 4,51(568)^{-0.265}$$

$$Ka = 0,8399$$

#### - Factor de Tamaño

De acuerdo al diámetro del eje se selecciona la ecuación para encontrar el Kb, y se define de la siguiente manera:

$$\left\{ \begin{array}{ll} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91d^{-0,157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/762)^{-0,107} = 1,24 d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51 d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$Kb = 0,879(d)^{-0,107}$$

$$Kb = 0,879(25,4)^{-0,107}$$

$$Kb = 0,621$$

- **Factor de modificación por la carga**

El factor de modificación por la carga se selecciona en base a las cargas que está sometido el eje, estos pueden ser carga de flexión rotatoria, axial y de torsión. En este caso las cargas son a flexión por tal motivo  $K_c$  es 1.

$$K_c = 1$$

- **Factor de modificación por temperatura**

Es el factor que se selecciona en base a la temperatura a la que trabaja el elemento a diseñar.

$$k_d = \begin{cases} 1 & T \leq 450^\circ\text{C} \text{ (840 }^\circ\text{F)} \\ 1 - 5,8(10)^{-3}(T - 450) & 450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C} \\ 1 - 3,2(10)^{-3}(T - 840) & 840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F} \end{cases}$$

La temperatura a la que trabaja el molino es menor a los  $450^\circ\text{C}$  por lo tanto

$$K_d = 1$$

- **Factor de confiabilidad 99%**

Tabla 11 Factor de Confiabilidad

CONFIABILIDAD %	VARIACION DE TRANSFORMACI ON Zn	FACTOR DE CONFIABILIDAD $K_c$
50	0	1
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,62

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Con una confiabilidad del 99% se obtiene lo siguiente:

$$K_e = 0,814$$

- **Factor de modificación por efectos varios**

Mediante la aplicación de los siguientes valores en la Figura 39 se puede encontrar el factor de concentración de esfuerzos.

$$\frac{D}{d} = \frac{25}{20} = 1,25 ; \quad \frac{r}{d} = \frac{1}{20} = 0,05$$

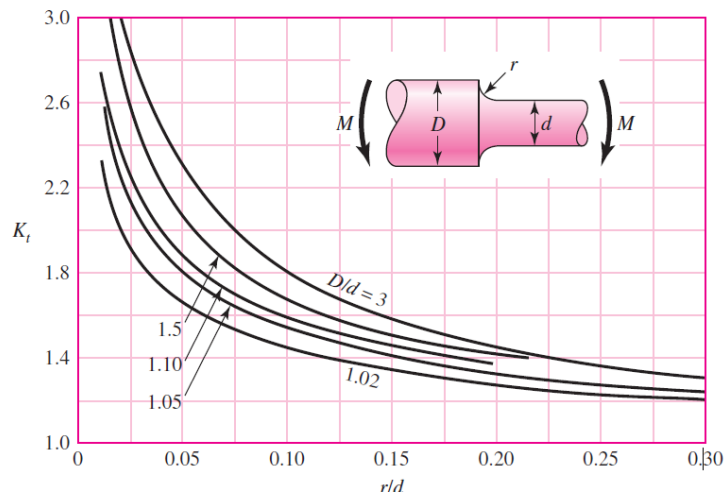


Figura 39 Eje sometido a flexion. Fuente: [33]

$$K_f = 1$$

$$K_{Ts} = \frac{25,4}{20} = 1,25$$

$$K_T = 1,9$$

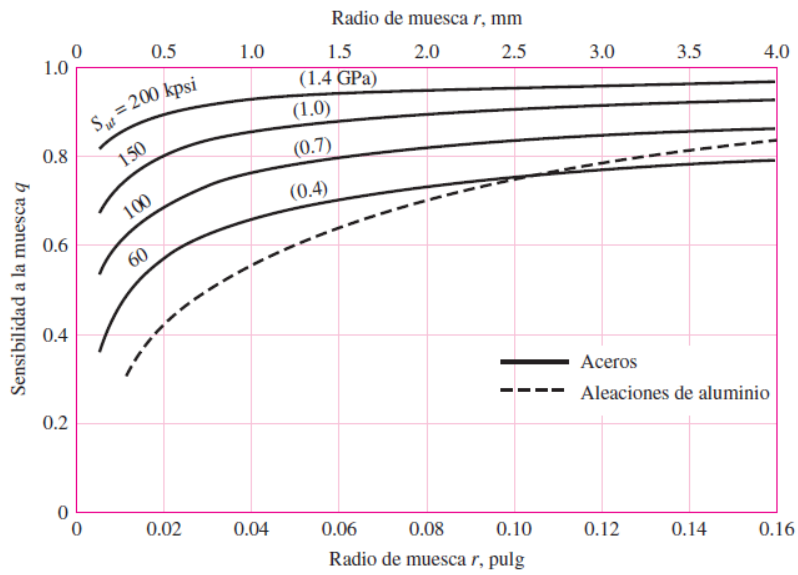


Figura 40 Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio. Fuente: [33]

$$f = 1mm$$

$$S_{ut} = 0,568Gpa$$

$$Kf = 1 + q(Kt - 1)$$

$$Kf = 1 + 0,76(1,9 - 1)$$

$$Kf = 1 + 0,76(0,9)$$

$$Kf = 1,684$$

$$q=0,76$$

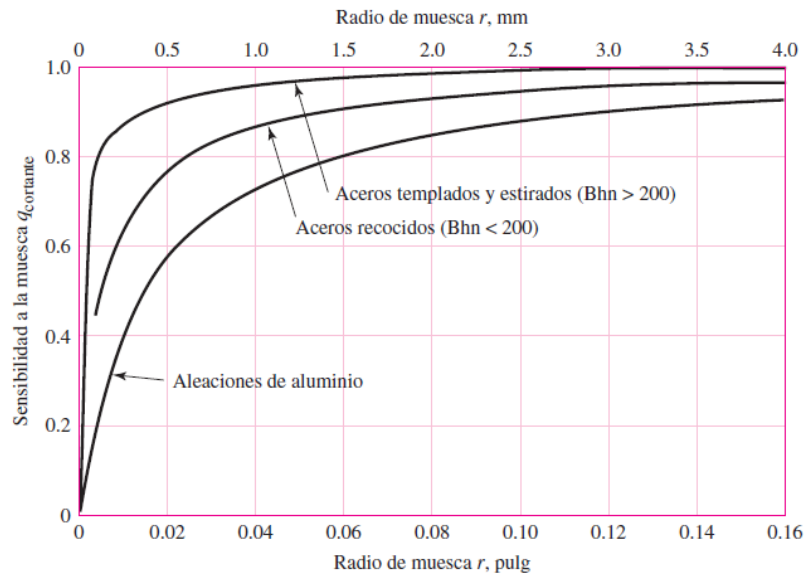


Figura 41 Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. Fuente: [33]

$$Q_{\text{cortante}} = 0,8$$

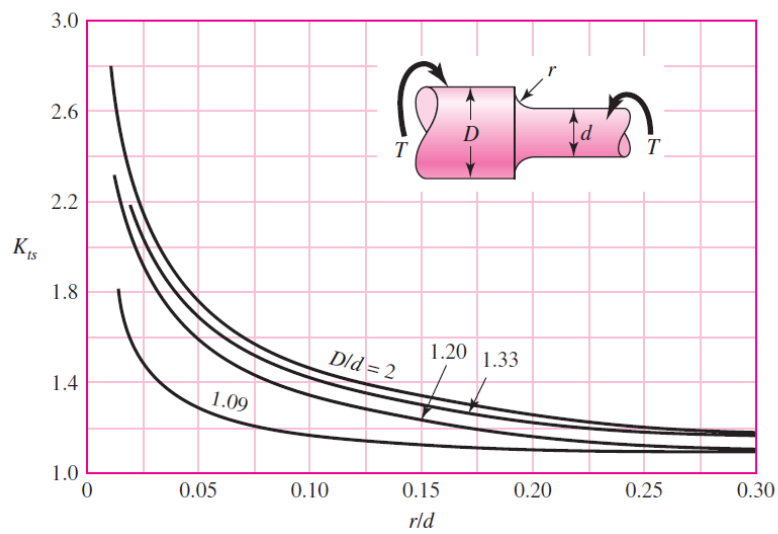


Figura 42 Eje sometido a torsión. Fuente: [33]

$$K_{fs} = 1,71$$



$$Kfs = 1 + q_{cortante} (Kfs - 1)$$

Ec. 44

$$Kfs = 1 + 0,8(1,71 - 1)$$

$$Kfs = 1,568$$

- **Factor de modificación por concentración de esfuerzos**

$$Ke = \frac{1}{Kf}$$

Ec. 45

$$Ke = \frac{1}{1,684}$$

$$Ke = 0,593$$

$$Se = (0,8399)(0,621)(1)(1)(0,593)(1,684)(284)$$

$$Se = 147,93 MPa$$

- **Criterio de falla utilizando el criterio de Goodman**

$$\frac{\theta a}{Se} + \frac{\theta m}{Sut} = \frac{1}{n}$$

Ec. 46

$$\theta a = \sqrt{\theta x^2 a + 3Zxa^2}$$

Ec. 47

$$\theta xa = Kf \cdot \frac{32}{\pi} \cdot \frac{Ma}{d^3}$$

Ec. 48

$$\theta_{xa} = Kf \cdot \frac{32}{\pi} \cdot \frac{Ma}{d^3}$$

$$\theta_{xa} = 1,684 \cdot \frac{(32)8511[N.mm]}{\pi(20mm)^3}$$

$$Z_{xya} = 0$$

$$\theta_{xa} = 18,24 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

- **Esfuerzo medio**

$$\theta_m = \sqrt{\theta^2_{xm} + 3Z_{xy}^2 m}$$

Ec. 49

$$g_{xm} = (1,684) \frac{(32)(3669,71N.m)}{\pi(20mm)^2}$$

$$\theta_{xm} = 7,86 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$Z_{xm} = Kfs \frac{16.Tm}{\pi.d^3}$$

$$Z_{xm} = 1,568 \frac{(16)(8511Nmm)}{\pi(20mm)^3}$$

$$Z_{xm} = 8,49 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\theta_m = \sqrt{(7,86)^2 + 3(8,49)^2}$$

$$\theta_m = 16,68 \left[ \frac{Nm}{mm^2} \right]$$

De la ecuación 45:

$$\frac{18,24}{147,93} + \frac{16,68}{568} = \frac{1}{n}$$

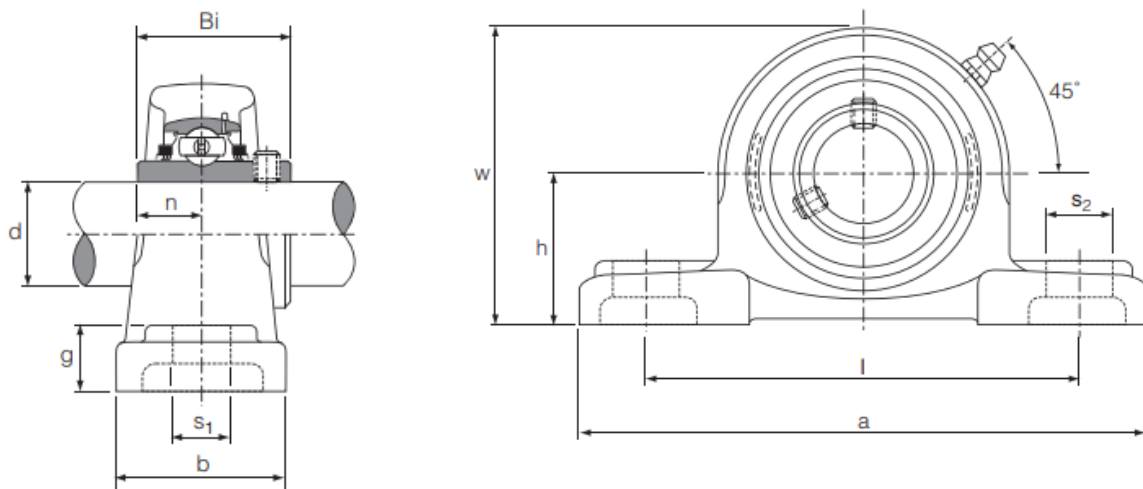
$$n = 6,54$$

Una vez realizado los cálculos se obtiene un factor de seguridad de 6,54 lo que hace al elemento confiable.

### 3.16 Selección de chumacera

Las chumaceras se utilizarán para el eje que servirá para transmitir el movimiento entre las poleas que van desde el motor al tornillo transportador.

Para seleccionar la chumacera más adecuada se considera el diámetro del eje en el que va montado, este es de 20 mm. El eje viene con este diámetro de fábrica, sin embargo, para dejar con ajuste respecto a la chumacera se rebajará la medida, por ese motivo se escogerá una chumacera de diámetro 19.05mm que de acuerdo con el catálogo presentado en la Figura 43 es equivalente a una chumacera de  $\frac{3}{4}$  plg hierro fundido 204-12.



### UCP 200 Pillow Blocks (Normal Duty) / (Servicio Normal)

Bearing Unit / Soporte	Shaft / Eje Dia. d inch      d mm		h	a	l	b	s	s
UCP 204 UCP 204-12	3/4"	20	33.3	127	96	38	19	13
UCP 205 UCP 205-16	1"	25	36.5	140	105	38	19	13
UCP 206 UCP 206-18	1.1/8"	30	42.9	165	121	48	21	17
UCP 207 UCP 207-20 UCP 207-22	1.1/4" 1.3/8"	35	47.6	167	126	48	21	17
UCP 208 UCP 208-24	1.1/2"	40	49.2	184	136	54	21	17

Figura 43 Catalogo de chumacera. Fuente: [34]

### 3.17 Selección de rodamiento

Para seleccionar el rodamiento se toma en cuenta el número de revoluciones y la carga a la que va a ser sometido el mismo, con estos datos se procede a calcular y seleccionar el rodamiento más adecuado.

$$C = (XFr + YFa) \left| \frac{60 \cdot N \cdot L}{10^6} \right|^p \quad \text{Ec. 50}$$

$$F_r = \sqrt{R_a^2 + R_r^2} \quad \text{Ec. 51}$$

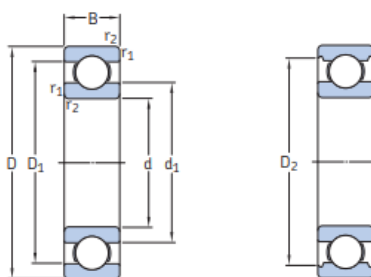
$$F_r = \sqrt{64.77^2 + 260.27^2}$$

$$F_r = 268,208N$$

$$C = (1 \cdot 268,208N + 1) \left| \frac{60 \cdot 26389,4 \frac{rad}{h} \cdot 8h}{10^6} \right|^{1/3}$$

$$C = 609.814N = 0.609kN$$

Con el factor C (carga dinámica), se selecciona del catálogo SKF el rodamiento con la denominación 6005 con una capacidad de carga básica de 11,6 kN como se indica en la Figura 46.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	—
25	37	7	4,1	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,06	* 16005
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	* 6005

Figura 44 Rodamientos SKF. Fuente:[35]

### 3.18 Cálculo de la mesa-bastidor

Para el cálculo de la mesa-bastidor se compone de dos clases de perfiles, tubos cuadros situados de forma vertical- horizontal y de ángulos dispuestos de forma transversal. Los cálculos son presentados a continuación adecuados al diseño y esquematizados en la Figura 47.

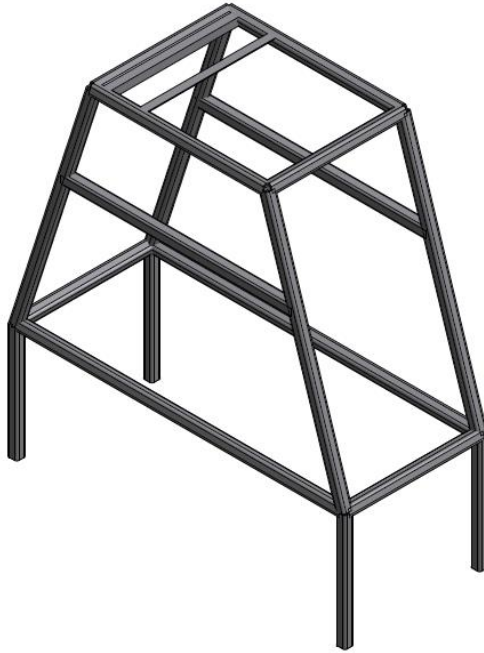


Figura 45 Estructura de mesa. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Para calcular el perfil en posición horizontal se considera los siguientes datos:

- Longitud del perfil: 300 mm
- Longitudes de ampliación de las cargas actuales: P1 a 85mm y P2 a 215mm.
- Cargas actuales cortantes,  $P1=P2=68,67\text{ N}$

En la Figura 46 se puede observar un diagrama de cuerpo libre donde se obtiene los datos que se han considerado anteriormente.

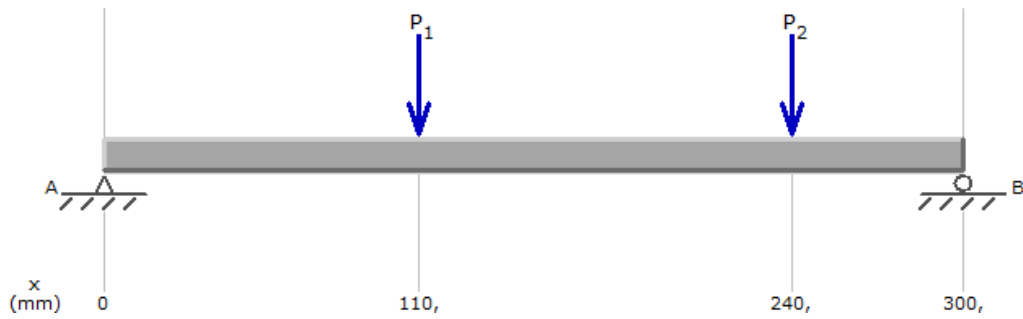


Figura 46 Diagrama de perfil horizontal con sus respectivas cargas. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Mediante la aplicación del software MDsoldis 3.6 se puede determinar con facilidad el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector representados en la Figura 47 y 48 respectivamente.

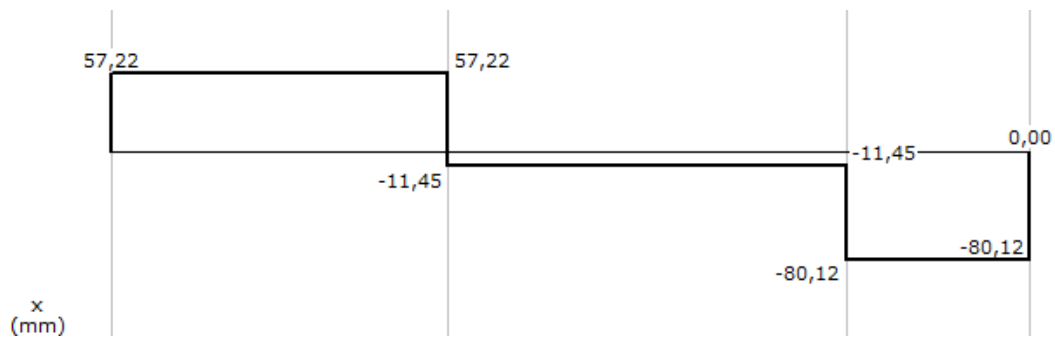


Figura 47 Diagrama de esfuerzo cortante. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

El esfuerzo cortante máximo es de 68.67 N o 7 kg.

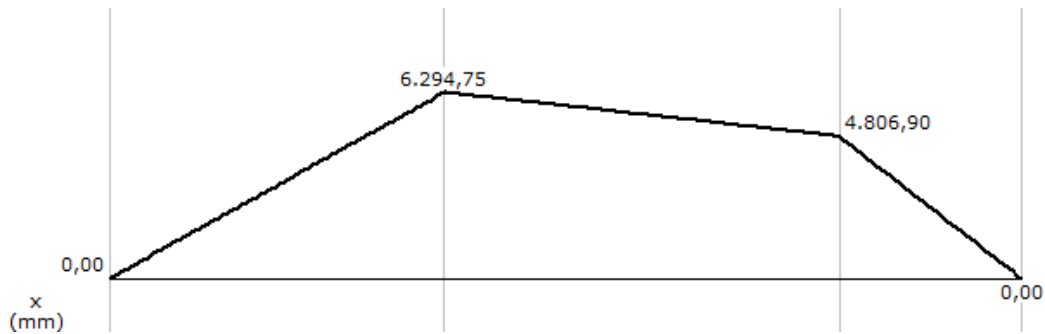


Figura 48 Diagrama de momento flector. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

El momento flector máximo es de 6294.75 N. En base a estos resultados se selecciona el perfil correspondiente.

### 3.18.1 Cálculo del perfil horizontal

Una vez determinado el momento máximo (6294.75 N), se selecciona un perfil considerando un factor de seguridad igual o mayor a 3.

Se selecciona un ángulo en acero inoxidable 304.

$$\sigma \rho = \frac{MC}{Ix} = \frac{M}{Sx} \leq \sigma \max = \frac{sy}{F.S} \quad \text{Ec.52}$$



Donde:

$\sigma_p$  = esfuerzo permisible

M=momento máximo

I = inercia respecto al ejex

C = distancia al eje x

Sy = límite de fluencia

Fs=factor de seguridad

Al reemplazar los datos en la ecuación 52 se obtiene:

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{F.S} = \frac{2814,41}{3}$$

$$\sigma_{\max} = 938,14 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M.Fs}{S_x}$$

$$S_x = \frac{59,53kg.cm(3)}{938,14 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$S_x = 0,19037 \left[ cm^3 \right]$$

El módulo de sección ( $S_x$ ) obtenido al reemplazar los datos tiene un valor de  $0,19037 \text{ cm}^3$ , De acuerdo con el catálogo de DIPAC, se selecciona un ángulo en acero inoxidable con  $S_x = 0,448 \left[ cm^3 \right]$  de 2 mm de espesor y 25 mm de lado, el cual responde al perfil más aproximado al módulo de sección obtenido en los cálculos.

### 3.18.2 Diseño de columnas

Para el diseño, cálculo y selección de las columnas, se establece como dato a flexo-compresión con una carga 135,93 N y 84,201 N.

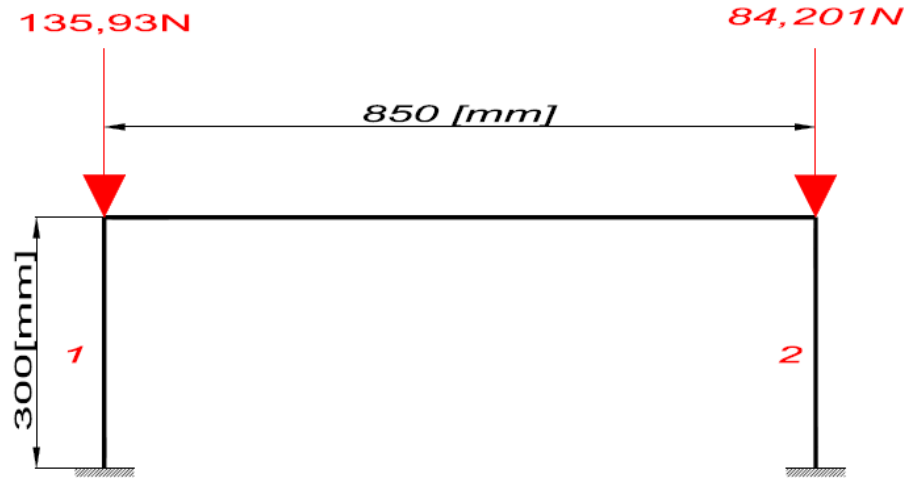


Figura 49 Armadura. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

$$r_{\min} = r_{yy} \frac{k \times L}{C_c} \quad \text{Ec.53}$$

Dónde:

$r_{\min}$  = radio mínimo de giro para el perfil

$L$  = longitud de la columna

$C_c$  = relación de separación entre pandeo elástico e inelástico

$$r_{\min} = \frac{1,2 \cdot 11,81}{126,1} = 0,28 [\text{plg}] = 0,71 [\text{cm}]$$

Al obtener el resultado, se establece el dato para seleccionar del catálogo de DIPAC presentado en el anexo 2, un perfil cuadrado de 2 mm de espesor y 25 mm de lado.

#### - Esbeltez de la columna

$$\lambda = \frac{k \cdot L}{r_{\min}} \quad \text{Ec.54}$$

$$\lambda = \frac{1,2 \cdot 11,81}{0,93} = 15,23$$

Este valor es menor a 200, por tal motivo no es necesario aplicar nervaduras en la estructura. De acuerdo al manual AISC se determina el valor de  $F_a$  cuyo valor es de 20,89 Ksi.

$$f_a = \frac{P}{A} \quad \text{Ec.55}$$

La fuerza de compresión que actúa sobre el área de  $1,74 \text{ cm}^2$  es de 135,93 N.

Al relacionarse estos 2 factores se verifica que la columna selecciona es la correcta:

$$f_a = \frac{30,56}{0,27} = 113,185 [\text{psi}]$$

$$f_a = 0,113 [\text{ksi}]$$

$$I_a = \frac{f_a}{F_a}$$

$$I_a = \frac{0,113}{20,89} = 0,005$$

$$I_a < 1$$

La relación obtenida indica que el elemento seleccionado no fallara. Sin embargo, para la fabricación de la estructura principal se utilizará ángulos y perfiles cuadrados en acero inoxidable.

### 3.19 Cálculo de soldadura

Para la fabricación de la mesa, el tornillo transportador, la tolva y algunas piezas que conforman el molino, se debe realizar el proceso de soldadura para unir uno o varios elementos mecánicos.

Antes de seleccionar el proceso de soldadura, se sabe que la mayoría de las piezas que conforman la máquina son de acero inoxidable A304, sin embargo, como esta máquina trabajara en contacto con alimentos debe tener un excelente acabado y brillo superficial.

El proceso de soldadura más acorde a las especificaciones que se desea es el GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). El palillo seleccionado para soldar es el ER316L porque sus propiedades mecánicas garantizan la resistencia a todas las cargas que será sometida.

<u>Mechanical Properties (R.T.)</u>	
Yield Strength	59,000psi
Tensile Strength	88,000psi
Elongation	35%
Reduction of Area	39%

Figura 50 Propiedades mecánicas de la aleación ER316L. Fuente: [36]

### 3.20 Diseño del Tornillo de regulación

Para calcular el tornillo de regulación es necesario encontrar la presión que existe cuando están en contacto los dos discos dentados sin embargo se debe conocer previamente el funcionamiento de la máquina y realizar un análisis con la finalidad de encontrar cual elemento mecánico se encuentra a presión.

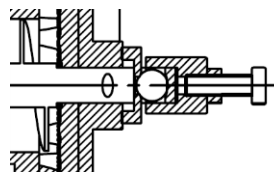


Figura 51 Funcionamiento del tornillo de regulación

Como se puede apreciar en la Figura 51 el sistema tiene una esfera, la que se encarga de empujar al disco dentado móvil para ajustar y obtener una molienda más fina. Por este motivo se busca el esfuerzo último a tensión del material del que está fabricado la esfera.

La esfera es de acero AISI 1018 y su esfuerzo a la fluencia es de 220 Mpa [1], además el diámetro de la esfera es de 20mm.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad \text{Ec. 56}$$

$$A = \pi (0,010)^2$$

$$A = 0,000314m^2$$

Para encontrar la fuerza que soporta la esfera se realiza la siguiente ecuación

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P \cdot A$$

$$F = 220 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot 0,000314m^2$$

$$F = 69,08KN$$

Una vez calculada la fuerza que se aplica en la esfera se procede a calcular el área de esfuerzo por tensión axial.

Con un diámetro de 12mm se tiene un área de esfuerzo por tensión de  $92,07mm^2$

Para encontrar el esfuerzo por tensión se aplica la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} \quad \text{Ec. 57}$$

$$\sigma_t = \frac{69,08KN}{92,07mm^2 \cdot \frac{1m^2}{(1000mm)^2}}$$

$$\sigma_t = 750MPa$$

Después de encontrar el esfuerzo axial a tensión del perno de 12mm se dispone a encontrar la presión que se ejerce en los discos.

El disco tiene un diámetro de 140mm y se calcula el área de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}A &= \pi \cdot r^2 \\A &= \pi (0,07)^2 \\A &= 0,015m^2\end{aligned}$$

Una vez encontrada el área de contacto de los discos se procede a calcular la presión que genera la carga anteriormente calculada

$$\begin{aligned}P &= \frac{F}{A} \\P &= \frac{69,08KN}{0,015m^2} \\P &= 4,6Mpa\end{aligned}$$

Como resultado se obtiene que el esfuerzo axial a tensión del perno es mayor a la presión generada por el contacto de los discos, asegurando la resistencia del perno a dicha presión.

### **3.21 Calibración de la máquina**

Los discos dentados deben tener una distancia de separación para generar un grado de molienda fino.

Para determinar la distancia se procede a tomar en cuenta el espesor del material que se desea obtener. Y se lo realiza de la siguiente manera:

- a. Para empezar, se toma medidas del grano de una bolsa de té de sachet que es el producto final.



Figura 52 Bolsa de Té de sachet. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- b. Se toma varias medidas del grano del té de sachet.



Figura 53 Toma de medidas de varias muestras al azar. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- c. Con los datos se realiza una tabla con todas las muestras medidas.

Tabla 12 Medida de 10 muestras tomadas

N° Muestra	Medida(mm)
1	0,03
2	0,02
3	0,07
4	0,08
5	0,05
6	0,02
7	0,03
8	0,08
9	0,07
10	0,08

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- d. Para obtener un resultado más preciso se ordena los valores de menor a mayor y se escoge a dos valores medios.

Tabla 13 Medidas de muestras ordenadas de menor a mayor

Item	Medida(mm)
1	0,02
2	0,02
3	0,03
4	0,03
5	0,05
6	0,07
7	0,07
8	0,08
9	0,08
10	0,08

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

- e. Se suma los dos valores y se dividen para dos, para encontrar la mediana
- f. Como resultado se obtiene 0,06mm la que debe ser la distancia de separación de los discos.

Se puede variar el grano de molienda al ajustar el perno de regulación al variar la separación entre 0,05mm a 0,07mm.



## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS, ANÁLISIS DE COSTOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este capítulo indica los resultados de producción, además se hace un análisis económico donde se podrá observar los gastos directos e indirectos de todo lo que conforma el molino para triturar hojas secas.

El costo de los materiales empleados en el molino puede fluctuar en nuestro mercado nacional, las tablas a continuación van a conformar con los precios que se obtuvo al fabricar cada elemento de la máquina.

Para realizar el análisis de costos del molino se consideró:

- Costos directos
- Costos indirectos
- Costos totales

#### **4.1 Resultados**

Una vez finalizada la construcción de la máquina se procede a tomar datos de la producción en un determinado tiempo. El molino está diseñado para triturar 12 tipos de hojas secas en las cuales, en cada muestra muchas veces viene variado el volumen de hojas, algunas veces vienen más chuquiraguas o más arquitecto. Y esto hace que los tiempos varíen de acuerdo al volumen de hojas y la clase que ingresen en la tolva, por tal motivo se realizó varias pruebas de funcionamiento, en las que se toma el tiempo que se demora el molino en triturar hojas secas.

Se probó con un ingreso de 500 gramos y al mezclar los 12 tipos de hojas, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 14 Pruebas de molienda con 500 gr

ITEM	CANTIDAD DE MATERIAL (gr)	Tiempo( min)
1	500	1,5
2	500	2
3	500	1,6
4	500	1
5	500	1,8
	<b>Promedio</b>	1,6

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

En un promedio se obtiene 1,6 minutos por cada 500 gramos, es decir que durante una hora el molino produce 30000 gramos de hojas trituradas. Se debe tomar en cuenta que la maquina trabaje 8 horas diarias, en cada día produciría 240 000 gramos.

Sin embargo, la producción mensual de la fundación es de 300 000 gramos al mes. Para cubrir esa necesidad la maquina debe trabajar durante 2 días al mes en una jornada de 8 horas.

En la Figura 54 al implementarse el molino en el proceso de elaboración del té en sachet, se observa que mejoran tiempos empleados y distancias recorridas por que las acciones de transporte son eliminadas.

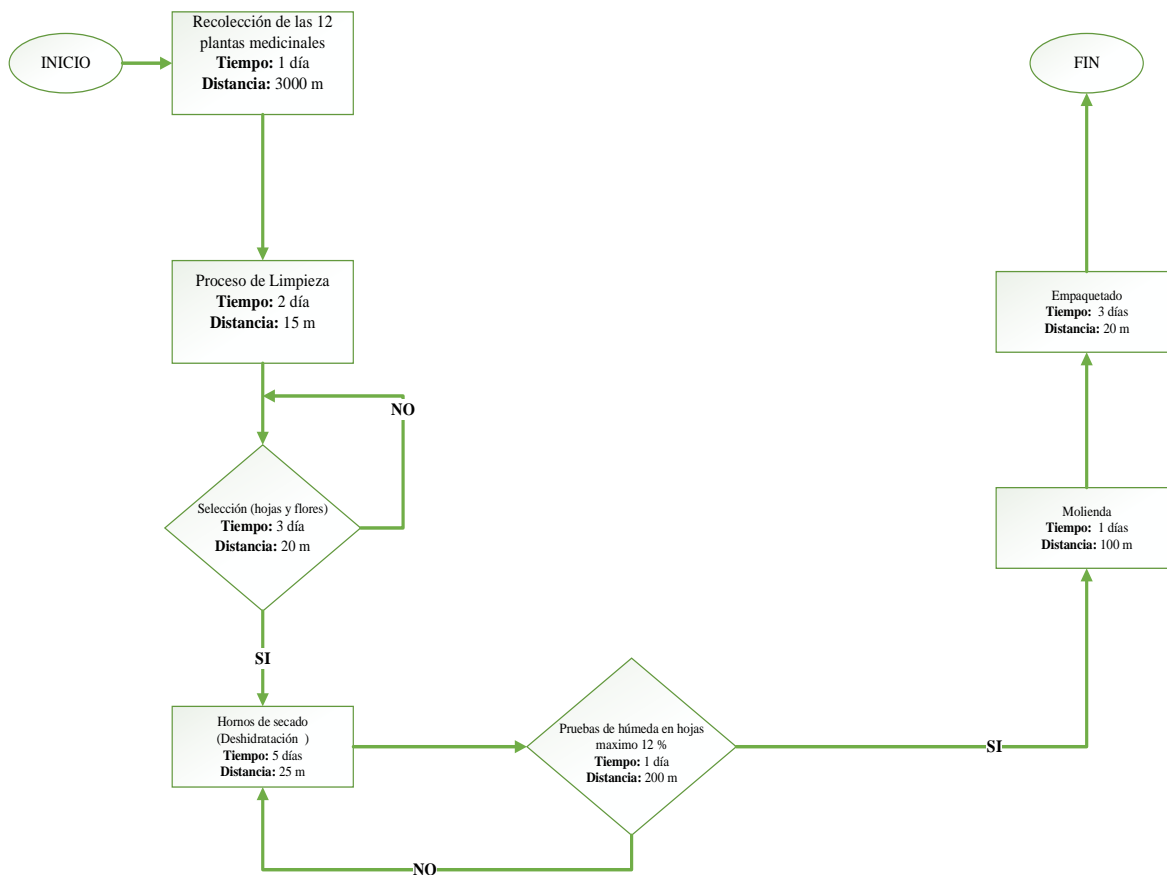


Figura 54. Diagrama de flujo- Implementación del molino al proceso de elaboración de té sachet Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Tabla 15 Tiempos empleados en el proceso de elaboración del té en sachet

	Operación	Tiempo A (días)	Tiempo B (días)
1	Recolección	1	1
2	Proceso Limpieza	2	2
3	Selección (hojas,flor)	3	3
4	Horno de secado	5	5
5	Pruebas de húmedad	1	1
7	Molienda	5	1
9	Empaquetado	3	3
	<b>Total</b>	20	16

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

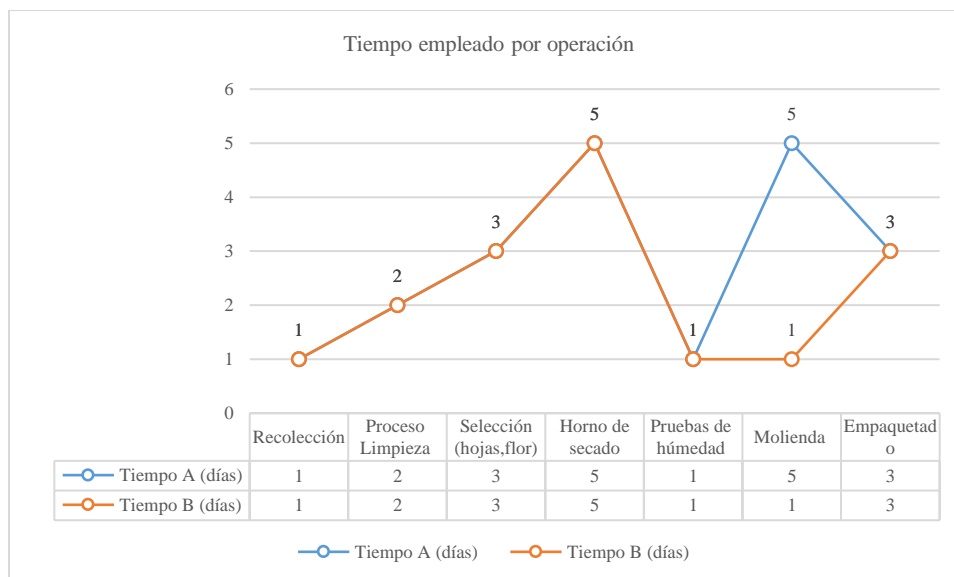


Figura 55 Gráfica comparativa de tiempos A-B. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Tabla 16 Distancias recorridas en el proceso de elaboración de té en sachet. Elaborado por:  
Francisco Pallasco y Alex Jami

	Operación	Distancia A (m)	Distancia B (m)
1	Recolección	3000	3000
2	Proceso Limpieza	15	15
3	Selección (hojas, flor)	20	20
4	Horno de secado	25	25
5	Pruebas de humedad	200	200
7	Molienda	190010	100
9	Empaquetado	20	20
	<b>Total</b>	193290	3380

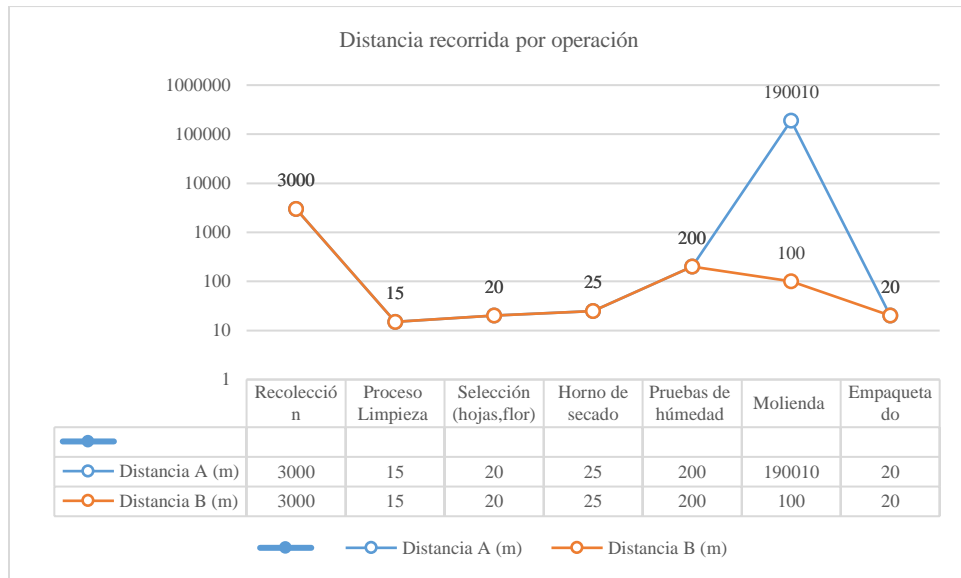


Figura 56 Gráfica comparativa de distancias recorridas A-B. Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

## 4.2 Costos directos

Los costos directos son aquellos que se asocian directamente a la producción, estos pueden ser: costo de materiales, mecanizado y mano de obra. En la Tabla 17, se realiza una lista de los materiales utilizados en la construcción del equipo y que pueden ser identificados cuantitativamente dentro de este.

Tabla 17 Lista con los costos de materiales

ITEM	DESCRIPCION	CANT	Costo Unit	TOTAL
1	TUBO ACERO INOX IMPORT 25.4x25.4x1.5 (1"x1.5)(6,23kg)	1	28,66	28,66
2	TUBO. INOX 304L SCH40 3"	1	14,55	14,55
3	AC. INOX. PLANCHA RETAZO 12mm	1	14,32	14,32
4	AC. INOX. PLANCHA RETAZO 12mm	1	11,97	11,97
5	TUB. INOX 304L SCH40 2 1/2"	1	2,83	2,83
6	INOXIDABLE 1" X340mm	1	6,59	6,59
7	INOXIDABLE 2" X25mm	1	2,34	2,34
8	AC. INOX. PLANCHA RETAZO 6mm	1	8,13	8,13
9	AC. INOX. PLANCHA RETAZO 6mm	1	6,5	6,5
10	M303 DIAM 141.50mm redonda 141,5mmx12mm	1	37,05	37,05
		1	37,05	37,05
11	ANGULO ACERO INOX 25x3mm(6,71KG)	1	37,3	37,3
12	AC. INOX. PLANCHA RETAZO 2mm	1	9,3	9,3
13	AC. INOX. PLANCHA RETAZO 6mm	1	8,99	8,99
14	PLANCHA 1010H 4	1	5,2	5,2
15	PLANCHA ACERO INOX MATE 0,7 MM	1	60,45	60,45
16	DISCO LAMINADO 4 1/2 X 7/8 120	1	4,32	4,32
17	GAFAS DE SEGURIDAD TRANSPARENTE	2	1,92	3,84
18	RODAMIENTO 6205ZZHCH	1	5,86	5,86
19	INOX 3114X40	1	9,55	9,55
20	PERNO ALLEN C.PLANA AC. GR.10,9MM DIN 7991 M12x1,75x40	8	0,38	3,04
21	POLEA 21 2x1	2	2,1	4,2
22	POLEA 10x1	1	8,92	8,92
23	POLEA 14x1	1	15,9	15,9
24	CHUM. PISO 3/4	2	4,47	8,94
25	CAJETIN PLASTICO RECTANGULAR F	1	0,31	0,31
26	TOMA CORRIENTE EAGLE BEAGE C	1	1,52	1,52
27	PLACA PLASTICA/CAJET..1-H BEAGE VEF	1	0,4	0,4
28	ALAMBRE GEMELO 2x16	2,5	0,5	1,25
29	INTERRUPTOR/BOTONERA ON-OFF 30	1	5,13	5,13
31	ENCHUFE BUNDADO 3/P T/EAGLE2	1	0,89	0,89
31	BANDAS	2	5,8	11,6
32	PLATINA DE 25x10mm INOX 304	1	7	7
33	MOTOR 1Hp 110V/220V	1	450	450
				833,9

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

El costo total en elementos mecánicos como eléctricos es de 833,90 USD.

En la Tabla 18, se indican los costos de mecanizados utilizados en la construcción del equipo.

Tabla 18 Costos de Maquinaria utilizada

COSTO DE MECANIZADO				
ITEM	DESCRIPCION	TIEMPO DE USO [hora]	COSTO [USDxhora]	TOTAL [USD]
1	TORNO	15	8	120
2	FRESADORA	24	10	240
3	TALADRO	8	1	8
4	AMOLADORA	4	1	4
5	SOLDADORA GTAW	24	20	480
6	HERRAMIENTAS	24	2	48
7	ELEMENTOS DE PRECISIÓN	90	1	90
TOTAL				990

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Los elementos de precisión son todos los dispositivos de medición que se utilizan al momento de mecanizar, el operador utiliza estos dispositivos todo el momento.

En la Tabla 19, se indica los costos de mano de obra, siendo la remuneración de la persona que ejerce el esfuerzo físico para el mecanizado de los diferentes elementos de la máquina.

Tabla 19 Costos de mano de obra

ITEM	TRABAJADOR	COSTOxHORA USD	N°HORAS	TOTAL
1	Mecanico Tornero	2.8	16	44.8
2	Mecanico Fresador	2.8	25	70
3	Soldador	3	25	75
4	Ayudante	2	160	320
Total				509.8

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Los costos totales directos se indican en la Tabla 20, estos son asociados de forma directa a la inversión fija para la realización del equipo.

Tabla 20 Costos Directos

ITEM	COSTOS DIRECTOS	USD
1	Maquinaria Utilizada	990
2	Materiales	833.9
3	Mano de obra	509.8
TOTAL		2333.7

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 4.3 Costos Indirectos

Los costos indirectos representan a todos los gastos de ingeniería, imprevistos y transporte que se pueden presentar en este proyecto. Se asume un 10% del total de los costos directos para imprevistos.

En la Tabla 21, se detalla los costos de ingeniería e imprevistos en la realización del prototipo.

Tabla 21 Costos de ingeniería e imprevistos

DESCRIPCION	VALOR
Costo Ingeniería	0
Imprevistos	298
Total	298

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Así mismo en la Tabla 22 se puede observar los valores de costos de movilización empleados para la compra de materiales y el costo del transporte para llevar el equipo a Salinas de Guaranda.

Tabla 22 Costo del Transporte

TRANSPORTE	COSTO DEL FLETE USD	CANTIDAD	COSTO
Materiales	6	5	30
Maquina al Salinero	60	2	120
TOTAL			150

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami



Los costos totales indirectos se indican en la Tabla 23, la sumatoria de costos de ingeniería e imprevistos, movilización.

Tabla 23 Costos Indirectos

ITEM	COSTOS INDIRECTO	USD
1	Ingeniería e imprevistos	298
2	Transporte	150
TOTAL		448

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 4.4 Costos Totales

Los costos totales son la inversión total, equivalente a la sumatoria de todo lo empleado para realizar el molino como se detalla en la Tabla 24.

Tabla 24 Costos Totales

ITEM	COSTOS TOTALES	USD
1	Costos directos	2333.7
2	Costos indirectos	448
TOTAL		2781.7

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 4.5 Costos de operación y mantenimiento

Al realizar el análisis de costos por mantenimiento se consideran aspectos de funcionamiento de la planta, para determinar los costos de operación diario del equipo.

Se considera el trabajo semanal de 20 horas y 4 horas diarias durante 30 días laborables.

Tabla 25 Consumo eléctrico mensual

Consumo Eléctrico				
Item	Energía de consumo	Horas de trabajo	Eficiencia del Motor	Consumo mensual
	W	h		Kw*h/al mes
Motor Monofasico 1Hp	750	120	0,86	3,6
			<b>Total</b>	<b>\$3.60</b>

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Tabla 26 Costo de operación y mantenimiento

Costos de operación mensual	
Descripción	Valor \$
Eléctrico	3,6
Operario	386
Elementos de limpieza	10
<b>Total</b>	<b>\$399,60</b>

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

En función de la Tabla 26, se prevé un gasto mensual de operación por el valor de \$ 399.60.

#### 4.6 Viabilidad del proyecto

El salvamento se lo conoce como el valor de un activo al final de su vida útil. En términos de rentabilidad, se analiza la posibilidad de un salvamento de 10 % en función del tiempo de procesado de las hojas a ser trituradas.

$$S=10\% \cdot I$$

Ec. 588

Donde:

I: inversión (costo del equipo)

S: salvamento de máquina

$$S = 10\% \cdot (2781.7)$$

$$S = \$ 278.17 \text{ usd.}$$

De acuerdo con la ecuación 58 el salvamento de la maquina da como resultado un valor de \$ 278.17 usd.

#### 4.7 Depreciación de la máquina

En la actualidad es relevante saber que la tecnología sigue avanzando e innovando, los sistemas mecánicos son reemplazados por automatizaciones, por tal motivo se procede a realizar el cálculo de la depreciación de la máquina en 10 años.

El método más empleado para calcular la depreciación de un equipo asumiendo que este se utilice con frecuencia en el año y durante su vida útil es el de línea recta.

Para este caso el molino tendrá una depreciación anual según la ecuación 59 y detallada en la Tabla 27.

$$D_{anual} = \frac{I - S}{V} \quad \text{Ec. 59}$$

Donde:

I: inversión (costo del equipo)

S: salvamento de máquina

V: vida útil: 10 años

$$D_{anual} = \frac{2781.7 - 278.1}{10}$$

$$D_{anual} = \$250.353 \text{ usd}$$

Tabla 27 Depreciación anual del molino

DEPRECIACIÓN ANUAL DEL MOLINO			
AÑO	DEPRECIACION ANUAL [USD]	DEPRECIACION ACUMULADA	VALOR [USD]
0	\$0.00	\$0.00	\$2,781.70
1	\$250.35	\$250.35	\$2,531.35
2	\$250.35	\$500.70	\$2,281.00
3	\$250.35	\$751.05	\$2,030.65
4	\$250.35	\$1,001.40	\$1,780.30
5	\$250.35	\$1,251.75	\$1,529.95
6	\$250.35	\$1,502.10	\$1,279.60
7	\$250.35	\$1,752.45	\$1,029.25
8	\$250.35	\$2,002.80	\$778.90
9	\$250.35	\$2,253.15	\$528.55
10	\$250.35	\$2,503.50	\$278.20

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 4.8 Análisis del valor actual neto, la tasa interna de retorno y Payback

El molino triturador de hojas es considerado como un bien pasivo para la evaluación del TIR, se considera la tasa efectiva pasiva referencial que consta en las tasas referenciales máximas que dispone el Banco Central Del Ecuador.

Tabla 28 Producción mensual del molino

PRODUCCIÓN MINIMA MENSUAL DEL MOLINO		
DESCRIPCION	TIEMPO	UNIDADES
Tiempo de trabajo de la maquina (h/dia)	1	horas
Producción	25	kg/h
Días laborables (mes)	12	días
Produccion mensual(Kg/mes)	300	Kg/mes
Ingreso Anual de la fundación El Salinerito		
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES
Costo por kilo de hojas secas molidas	2	USD
Ingreso Mensual	600	USD
Ingreso Anual	7200	USD

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 4.8.1 Flujo de caja

En el flujo de caja se considera los datos más relevantes para realizar el cálculo del VAN y el TIR como se encuentra en la Tabla 29.

29 Flujo de caja

DESCRIPCION	Valor mensual	Simbolo	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Costo de Inversión (Costo total del molino)		I	2781,7									
Ingreso Anual		I a	I anual									
Venta ( 300 Kg mensuales)	600		7200	8000	8800	9600	10400	11000	11110	11221	11333	11447
Egreso Anual		E a	E anual									
Mantenimiento ( Limpieza)	10		120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Deshidratación de hojas	60		720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
Consumo de luz(Molino)	3,6		43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2
Operador	386		4632	4632	4632	4632	4632	4632	4632	4632	4632	4632
Decimos Cuarto y Tercero			772	772	772	772	772	772	772	772	772	772
Seguro IESS	53,22		638,64	638,6	638,6	638,6	638,6	638,6	638,6	638,6	638,6	638,6
Materia prima	150		1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Consumibles	30		360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Salvamento (10 años)		S	278,17									
Depreciación anual	20,86	D anual	250,35	250,4	250,4	250,4	250,4	250,4	250,4	250,4	250,4	250,4
Evaluacion del Proyecto		E	10 Años									
	INGRESO TOTAL		7200	8000	8800	9600	10400	11000	11110	11221	11333	11447
	EGRESO TOTAL		9364	9336	9336	9336	9336	9336	9336	9336	9336	9336
	TOTAL		-2164	-1336	-536	263,8	1064	1664	1774	1885	1997	2110

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

#### 4.8.2 Valor actual Neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR)

Para realizar el cálculo del Valor actual neto (VAN) se aplica la siguiente ecuación:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+k)^j} \quad \text{Ec. 60}$$

Donde:

$A$  = Inversión Inicial

$Q$  = Flujo de caja Anual

$k$  = Interés anual

Para el cálculo del TIR se procede a realizar con la siguiente fórmula:

$$TIR = \sum_{j=1}^n \frac{Fn_j}{(1+i)^j} \quad \text{Ec. 61}$$

Donde:

$Fn$  = Flujo neto anual

$i$  = Interés anual

$j$  = Tiempo del flujo de caja

Una vez aplicada las ecuaciones 60 y 61 se procede a realizar una tabla de resultados como se muestra a continuación:

Tabla 29 Resultado del VAN y TIR

AÑOS	FLUJO DE CAJA
AÑO 0	-2781,70
AÑO 1	-2164,00
AÑO 2	-1336,00
AÑO 3	-536,00
AÑO 4	264,00
AÑO 5	1064,00
AÑO 6	1168,00
AÑO 7	1273,00
AÑO 8	1379,00
AÑO 9	1486,00
AÑO 10	1594,00
<b>VAN</b>	<b>874,75</b>
<b>TIR</b>	<b>13%</b>

Elaborado por: Francisco Pallasco y Alex Jami

Como resultado se obtiene que la tasa interna de retorno representa un 13% lo que hace rentable al proyecto.

#### 4.8.3 Tiempo de retorno de la inversión Payback

Para conocer el tiempo en el que se recupera la inversión se aplica el Payback, es una ecuación sencilla que se utiliza el flujo de caja con sus valores negativos y se lo realiza de la siguiente manera:

$$Payback = \left[ \text{Ultimo periodo con flujo acumulado negativo} \right] + \left[ \frac{\text{Valor absoluto del último Flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del flujo de caja en el siguiente período}} \right] \quad \text{Ec. 62}$$

$$Payback = [3] + \left[ \frac{|-536|}{264} \right]$$

$$Payback = 5.03 \text{ Años}$$

## CONCLUSIONES

La visita de campo efectuada a la Fundación Familia Salesiana Salinas, permitió auscultar los requerimientos para diseñar el molino con una capacidad de producción de 300 kg mensuales solicitada por la Fundación FSS.

De acuerdo al estudio de alternativas se seleccionó el molino de discos, dando una valoración a ciertos parámetros de diseño, mantenimiento, costos y versatilidad del equipo este obtuvo una puntuación de 41, haciéndolo apto para la molienda de hojas secas.

En los resultados se pudo constatar que la máquina producirá 25 kg por cada hora, es decir que, para cubrir la necesidad mensual de 300 kg, el molino debería trabajar 12 horas mensualmente.

Para seleccionar los materiales se analizaron los elementos mecánicos más críticos, uno de ellos fue el eje del tornillo transportador, que cumple con un factor de seguridad de 8 y eso garantiza que se ha seleccionado correctamente los materiales utilizados para la fabricación del molino en el presente proyecto, que es acero inoxidable A304 grado alimenticio.

En análisis de costos se pudo conocer el costo de inversión del molino, que es de 2800 dólares, tiene un VAN de 874.75 y un TIR de 13% lo que lo hace rentable, además es menos costoso que un molino importado.



## **RECOMENDACIONES**

Se debe tener en cuenta el grado de humedad de la hoja disecada y debe ser máximo un 12 % de humedad.

Se recomienda diseñar cada elemento mecánico de forma desmontable para la facilidad de transporte y limpieza.

Para que el molino funcione adecuadamente se recomienda seguir las instrucciones descritas en el capítulo 3 de fabricación y montaje con todos los elementos que conforman el molino de acuerdo a planos de taller.

Al desmontar para la limpieza, en el disco dentado fijo es importante mantener el elemento mecánico rompedor caso contrario se embota y no tritura, además volver a calibrar con 0,1mm de juego entre discos.

Para evitar el desgaste de los discos ranurados se recomienda aplicar un tratamiento térmico de temple con dureza 46 HRC para aumentar la dureza y tenacidad del material.

Para el presente proyecto no se utilizó un panel de control y un guardamotor, sin embargo, se recomienda implementar estos dispositivos para asegurar una larga vida útil del motor.

## REFERENCIAS

- [1] “SALINERITO,” 2018. [Online]. Available:  
<http://www.salinerito.com/institucional/empresas-gruppo-salinas>.
- [2] C. E. Cerón Martínez, “Plantas medicinales de los Andes ecuatorianos,” *Botánica Económica los Andes Cent.*, pp. 285–293, 2006.
- [3] L. Condor, F.; Marcillo, V. & Jiménez, “Departamento de ciencias de la vida y de la agricultura,” 2015.
- [4] “Aromas y Especies.” 2016.
- [5] I. Manrique *et al.*, *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. *Colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP)*, vol. 53. 2013.
- [6] “Es fácil ser verde.” 2013.
- [7] K. Calvi, L. De Almeida, F. S. Fernandes, G. Telse Boaventura, and M. A. Guzmán Silva, “Efecto de la Linaza en el crecimiento de ratas Wistar ( *Linum Usitatissimum*),” *Rev Child Nutr.*, vol. 35, pp. 443–451, 2008.
- [8] “Hierba de Linasa.” 2017.
- [9] K. Silva-Moure, P. Torrecilla, and L. Marlene, “TAXONOMÍA DE *Lasiocephalus* WILLD. EX SCHLTDL. (ASTERACEAE) EN VENEZUELA,” no. Noviembre, pp. 1–25, 2013.
- [10] “Arquitecto planta medicinal.” 2015.
- [11] P. Urbeta, “Serie cuidando nuestra salud.” [Online]. Available:  
<http://www.ririki.org.mx/publicaciones/MANZANILLA.pdf>.
- [12] “Eco agricultor.” 2016.
- [13] Fundación Española de la Nutrición, “Menta,” 2013. [Online]. Available:  
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/menta.pdf>.
- [14] E. Peralta I, “Amaranto y Ataco,” 2009. [Online]. Available:  
<http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/AMARANTO Y ATACO>

P&R.pdf.

- [15] E. Espa and A. Menor, “Orégano.” [Online]. Available: <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/oregano.pdf>.
- [16] INKA PLUS, “Medicina Alternativa De la naturaleza a sus mesa (Hierbaluisa),” 2011. [Online]. Available: <http://www.inkaplus.com/media/web/pdf/Hierbaluisa.pdf>.
- [17] C. A. La, E. D. E. La, A. Minerales, and A. L. Organismo, “Medicina Alternativa De la naturaleza a sus mesa (Cola de caballo).”
- [18] A. Presentaci, L. Caullu, M. King, and H. Rob, “Índice.” [Online]. Available: <http://www.plantasutilesdeltropico.com/wp-content/uploads/2015/09/Plantas-medicinales-de-Salinas-de-Guaranda.pdf>.
- [19] V. Piña, Juliana. Bucalá, “Reducción de Tamaño- Molinos,” *Proces. sólidos- Proces. Aliment.*, p. 18, 2013.
- [20] R. P. Granell, “MOLINOS.” [Online]. Available: [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1974\\_10.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1974_10.pdf).
- [21] E. Acero, “Generalidades de trituración,” 2015. [Online]. Available: [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05\\_Apunte Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte Trituracion.pdf).
- [22] I. E. de N. (INEN), “NTE INEN 2392: Hierbas aromáticas. Requisitos.” 2007.
- [23] H. BRUNDIEK, “El molino de rodillos.” [Online]. Available: <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Molienda del Cemento/4 El molino de rodillos Historia y presente.pdf>.
- [24] F. de Ingeniería, “Molienda,” *Industrias I - 2015*, 2015. [Online]. Available: [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06\\_Apunte Molienda.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte Molienda.pdf).
- [25] C. De, “Cálculo de la densidad.” pp. 39–43, 2015.
- [26] “Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin,” 2015. [Online]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>.
- [27] P. Ing and G. Bavaresco, “Procedimiento Para El Diseño De Ejes,” 2015. [Online].

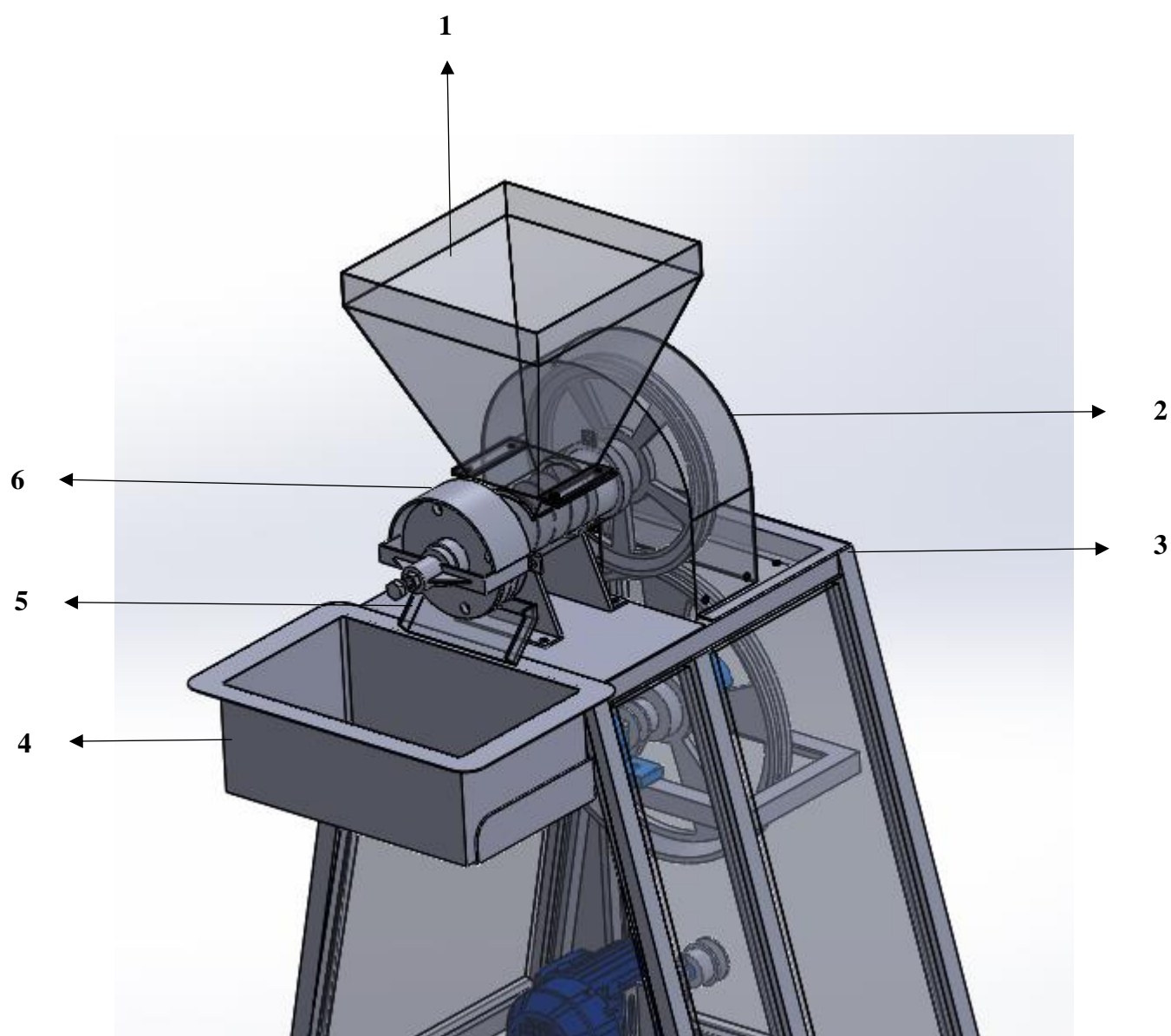
Available:

[https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo\\_de\\_ejes.pdf](https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo_de_ejes.pdf).

- [28] “Cálculo de la transmisión Cálculo de la transmisión Potencia nominal Optibelt P N – Factor de ángulo  $c 1$ .” pp. 67–82, 2016.
- [29] N. Espa and O. L. A. Correias, “Correas trapeciales UNE.” pp. 1–6, 1991.
- [30] R. Mott, *Resistencia-De-Los-Materiales-Robert-Montt-5Ta-Edicic3B2N.Pdf*. 2009.
- [31] Hermenegildo Rodríguez Galbarro, “Tornillo sin fin,” 2015. [Online]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html#seccion25>.
- [32] J. . Sanz, “Transporte de la pulpa de café a los procesadores mediante tornillo sinfin,” *Avances Técnicos* 226, 1996. [Online]. Available: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0226.pdf>.
- [33] D. R. Tobergte and S. Curtis, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [34] “CATÁLOGO DE SOPORTES BEARING UNITS CATALOG.” 2014.
- [35] G. SKF, “Rodamientos,” p. 1382, 2015.
- [36] R. Baxter, N. Hastings, A. Law, and E. J. . Glass, “Manual de Electrodo para Soldar,” *Animal Genetics*, vol. 39, no. 5. pp. 561–563, 2008.

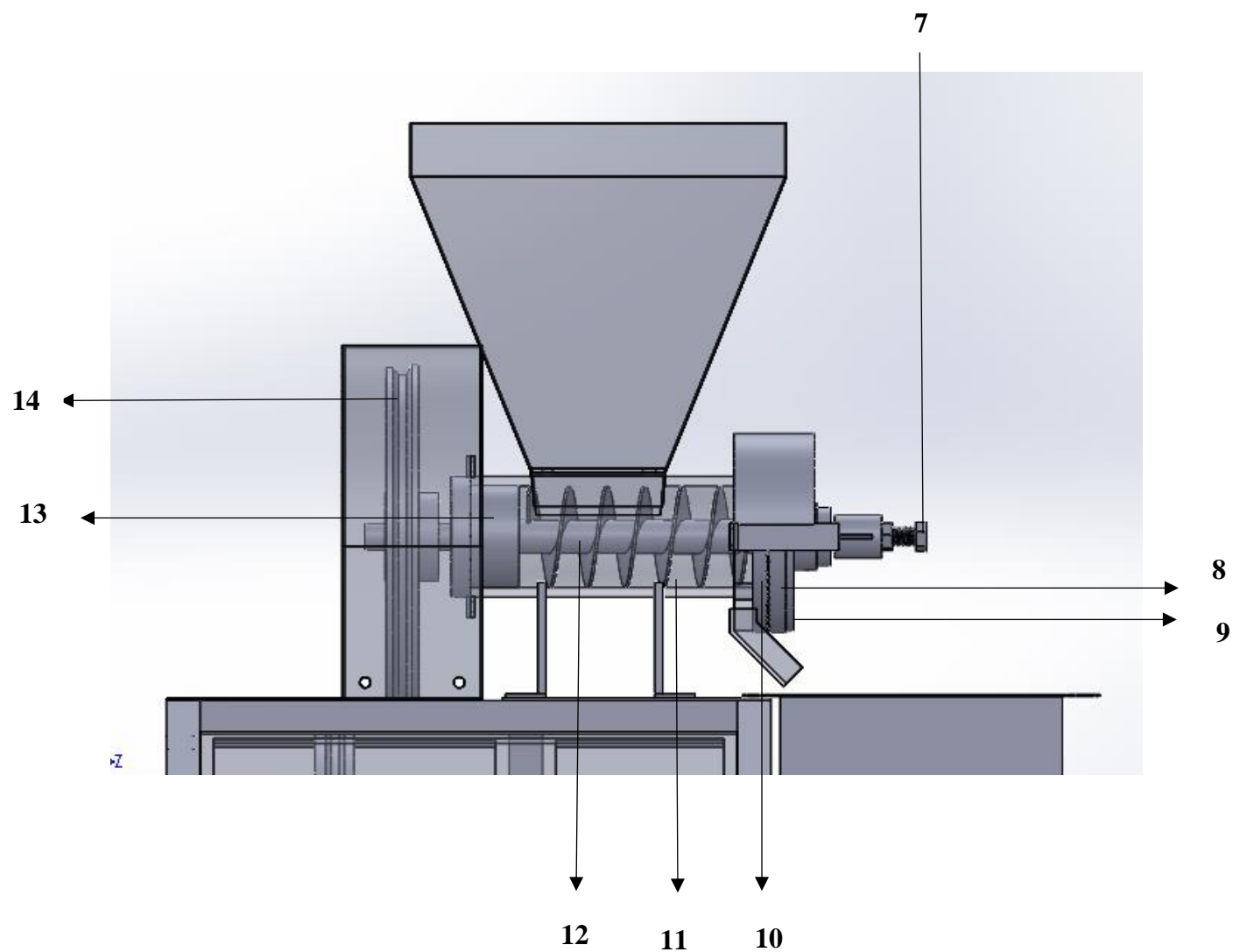
## ANEXOS:

MANUAL DE OPERACIÓN DE UN MOLINO PARA TRITURAR HOJAS DISECADAS DE PLANTAS MEDICINALES PARA INGREDIENTE DEL TÉ SACHET, CON CAPACIDAD DE 15 Kg/h

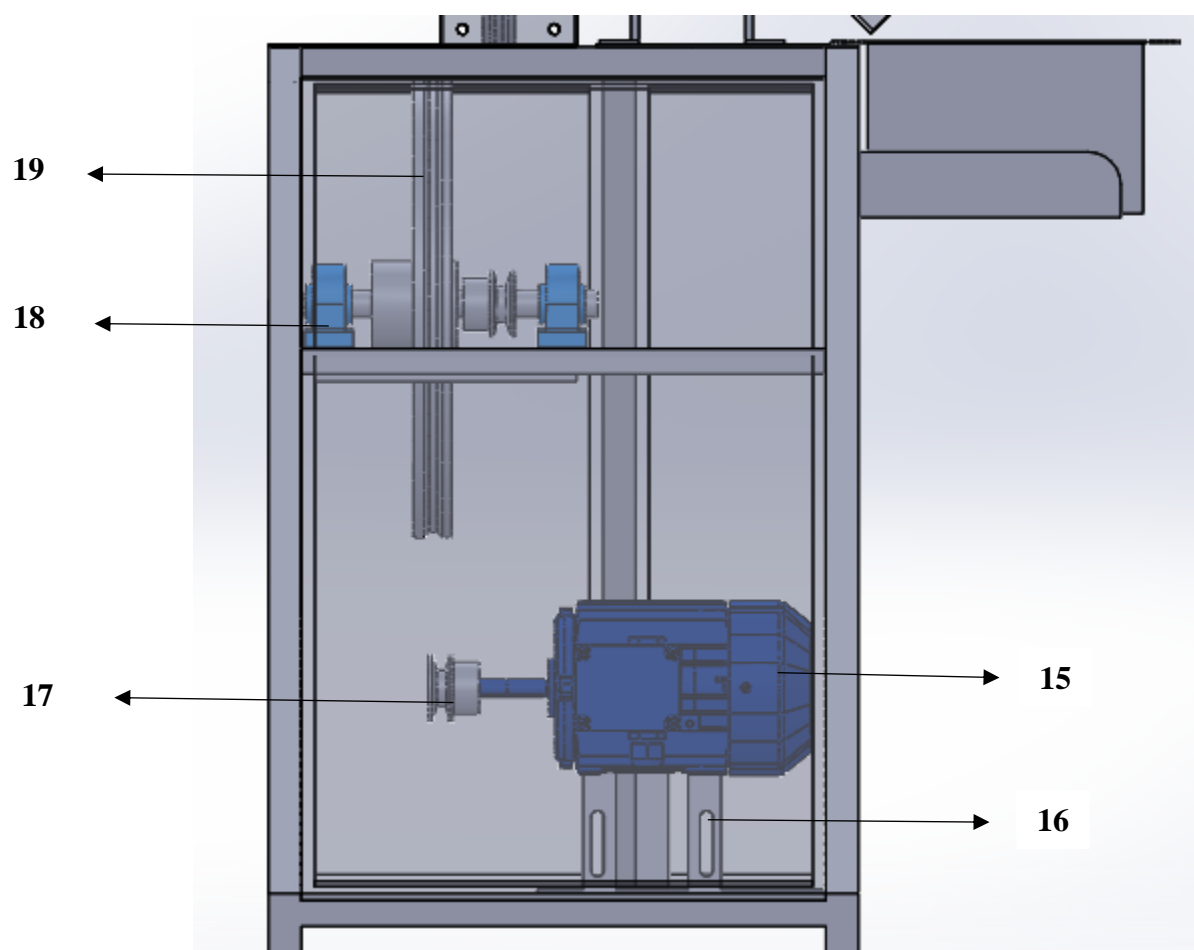


1. Tolva
2. Cubierta de polea
3. Mesa soporte
4. Bandeja recolectora
5. Bandeja de salida

## 6. Cubierta de muelas



- 7. Tornillo regulador
- 8. Muela móvil
- 9. Porta muela
- 10. Muela fija
- 11. Cámara
- 12. Tornillo transportador
- 13. Rodamiento
- 14. Polea 10 plg.



**15.** Motor eléctrico de 1 hp

**16.** Placa porta motor

**17.** Polea 2 plg.

**18.** Chumacera

**19.** Polea 14 plg.

### **Observe las siguientes indicaciones:**

- Por seguridad del operador siempre regirse a los pasos sugeridos en este manual.
- No manipular los mecanismos mientras trabaja el equipo.



- Las cubiertas que protegen a los mecanismos solos abrirlas en caso de mantenimiento y por personas autorizadas.



### **Accionamiento por primera vez:**

- Lave el interior de la cámara con agua tibia antes de empezar a trabajar (maquina nueva).
- Conecte el equipo a una toma de corriente común de 110 voltios.
- Encienda el equipo con la solución indicada por 3 minutos.
- Apague el equipo.
- Deje salir todo el líquido y secar el interior de la cámara al ambiente.



### **Operación:**

1. Verificar que en la máquina este accionado el botón de apagado.



2. Para obtener un grado de molienda deseado, verificar el ajuste del perno regulador (7).
3. Verificar la tensión en las bandas 1 y 2, caso contrario tensionarlas ajustando.
4. Para mejor rendimiento del equipo, coloque en la tolva un poco de hojas secas hasta llenar la cámara y con el equipo en marchas.
5. Agregue el producto a ser triturado (hojas secas) en cantidades pequeñas hasta completar el nivel óptimo de  $\frac{1}{2}$  de la capacidad de la tolva.
6. No es aconsejable cargar el producto primero a tope de capacidad de la tolva porque esto da más carga al motor y a los elementos de giro, además se consume más energía por la fuerza de arranque.
7. Una vez terminado el proceso de molienda apagar el equipo.

### **Limpieza:**

1. Verificar que el botón de apagado este accionado y el enchufe no esté conectado a la toma.
2. Retirar todos los desechos orgánicos con la ayuda de una brocha.
3. Limpiar con un paño húmedo todas las cubiertas de protección de los mecanismos.



## **Mantenimiento:**

1. Verificar que el botón de apagado este accionado y el enchufe no esté conectado a la toma.



2. Retirar las cubiertas protectoras, y visualmente determinar el estado de las bandas, cojinetes, rodamientos una vez al mes.
3. Cambiar las bandas cuando estas estén agrietadas o desgastadas.
4. Sustituir los rodamientos 1 vez al año o al encontrarse dañados o en mal estado y mantenerlos siempre engrasados.
5. Cada 30 días realizar un reajuste a todos los pernos de la estructura.

## Frecuencias de Mantenimiento

[illegible]

